المادة وضد المادة

المادة وضد المادة

تأليف
موريس دوكين
مدير معامل الفزياء النووية
باريس

matière et antimatière

ترجمة
الدكتور رمسيس شحاته

Matter and antimatter

Duquesne Maurice



دار المعارف بمصر
١٩٦٨

ملتزم الطبع والنشر : دار المعارف بمصر – ١١١٩ كورنيش النيل – القاهرة ج.ع.م.

مقدمة المترجم

إنه من السذاجة بمكان أن نسلم بأن « أى كتاب نقرأ نستفد » ، إلا إذا كان ذلك اتفاقا مع رأى نيتشه بأن كل ما لا يقتل الإنسان ينفعه . فلا شك أن صحبة الكتب تشبه إلى حد بعيد صحبة الأفراد ، ينبغى ألا نقبل عليها إلا بعد اختبار وتدقيق وروية .

ولقد استمرت صحبتى لكتاب « المادة وضد المادة » فترة من الزمان لم أشعر فى أى لحظة بالندم عليها أو الضيق بها . لطالما آنس وحدتى وبدد وحشتى ، وكان نعم الرفيق المؤنس . وما أكثر ما ارتوى منه ظمئى إلى المعرفة . لقد قمت معه بجولة موفقة ناجحة بين النظريات الفزيائية الكبرى ، لم أشعر خلالها بأى ضيق أو ملل . وهذا وحده توفيق كبير يستحق الثناء والتقدير .

ومع ذلك فإن أشد ما أعجبنى فى هذا الكتاب هو الطريقة التى أوضح بها المؤلف تأرجح الفكر الفزيائى بين منهجى « التجريد » و « التجريب » . فلم يترك المؤلف فرصة واحدة إلا استغلها لكى ينبئنا بأن « الحقيقة الفزيائية » — وبالتالى « حقيقة المعرفة » — متعددة الأوجه ، وأن التجريد والتجريب وجهان من أهم أوجهها . فهو مثلا يحرص بعد أن استعرض أمامنا نظريات الذرة القديمة — منذ يام لوكريتس ، وهى ممعنة فى الخيال والتأمل — أن يذكرنا بقوة بآراء دوماس الكيميائى الكبير والتجريبى الأصيل . وهو ، حين يحلق بنا عاليا فى سماء التجريد مع فكر ديراك عن المستويات السالبة للطاقة ، يحرص أشد الحرص على أن يلفت أنظارنا بقوة إلى أنه كان من الممكن أن تظل نظرية ديراك وهمًا يطوف بأجواز الفضاء لا يجد موطئا لقدميه ، أو مكانا يأوى إليه فى دنيا الواقع ، لولا أن أدركتها رحمة التجريب فثبتت أركانها ومنحتها كيانًا ملموسا تنبئنا بأدق خلجاته أجهزة القياس البارعة .

كأنى به يريد أن يحسم النقاش الذى طال أمده حول « طبيعة الحقيقة الفزيائية »

وهو إذ يفعل ذلك يجرنا قسراً إلى ساحة « مشكلة المعرفة » ويالها من مشكلة عميقة معقدة يتحرز العلماء من الانزلاق إلى حومتها . ولذلك نلحظ عند هذا الحد تحولا فى عبارات المؤلف التى كانت تتسم من قبل بالوضوح الصارم يجعلها تلتف بغلالة من الغموض الذى يدفع إلى الحيرة والتساؤل . أغلب ظنى أننا لو ألحفنا فى السؤال لما تحرج فى القول بأننا وإن كنا لا نجعل من « العدد » إلهاً نتوجه إليه بصلواتنا كما كان يفعل فيثاغورث فإننا نؤمن أن الطبيعة كتاب كتب بلغة الرياضة ، ولعله يرى أيضا : أن « مدلولات الحواس » ليست إفكاً وخداعاً لا طائل تحته أو « واقعية ساذجة » كاذبة أو عبثاً لا قيمة له ينبغى ازدرائه كما كان يفعل أفلاطون مثلا بل إنها بمثابة « اللحمة » فى نسيج المعرفة ولعل السداه هى « الحدس » الذى يؤلف بين خيوطها ويجعل منها نسيجا « واحداً » متصلا . ولكنه على أى حال يدفعنا دفعا قويًّا إلى الحيرة والعجب .

وأغلب ظنى أن المؤلف قصد عامداً أن يبعث فى نفس القارئ هذه الحيرة لاعتقاده أنها الجذوة المقدسة التى يكتوى بنارها وجدان الشاعر وعقل العالم ، وهى المصباح الذى أنار وسيظل ينير السبيل أمام الفكر البشرى يهديه إلى طريقه بين غياهب الظلمات ومتاهات المجهول .

ولعل هذا الشعور بالحيرة الذى يثيره الكتاب فى نفس القارئ كان أكبر حافز دفعنى إلى ترجمته . إن القارئ العربى لا يزال بعيداً عن هذا الاتجاه الفكرى . وأعتقد أن أكثر ما يحتاج إليه فوق الزاد الموضوعى هو الحافز الذى يدفعه إلى الاستزادة من استقلاله والثقة فى نفسه .

وأى حافز أقوى من « ضد المادة » دفعا إلى الحيرة والعجب . . . ؟ ! أليست « أضداد الجسيمات » أقرب ما يكون إلى نسمات « العالم السفلى » عالم الخواء والعدم ؟ يكاد يكون هذا هو التعبير الذى يفضله ديراك إفصاحا عنها عندما يشبهها بثقوب فى الوجود الذى نعرفه . أليس عجيبا أنك لو تسنى لك أن تمتطى إلكترونا موجبا مضى بك فى عكس اتجاه الزمن . . ! تأمل لحظة كل ما يمكن أن يتضمنه ذلك من أمور خارقة . إنه شىء يثير الرعب حقًّا ولذلك يجب أن نكون على حذر فلا

نترك الأمور تجرى على أعنتها ولا نطلق لخيالنا العنان . إن أضداد الجسيمات تتشبث بأهداب العدم وتدثر بدثار الفناء كما لو كانت لا تأتى إلى الوجود إلا مكرهة سرعان ما تتلاشى .

إنى أتمنى لكل من يقرأ هذا الكتاب متعة تفوق متعتى فى ترجمته بما يوازى على الأقل ما بذلت من جهد فى إتمامها .

دكتور

رمسيس شحاته

تنويه

« لست أدرى كيف أشكر العلامة النابغة الأستاذ الدكتور عثمان حسن المفتى ، رئيس قسم المفاعلات والأستاذ بمؤسسة الطاقة الذرية ، الذى تفضل فاقتطع من وقته الثمين ساعات عدة لقراءة مسودة الكتاب ، وتدوين العديد من الملاحظات والتصحيحات السديدة ، ولم يقف عند هذا الحد، بل شاء له كرمه ومحبته للعلم والعمل على نشره فوجه إلىّ تشجيعاً مسّ شغاف قلبى وطوقنى بجميل لن أنساه ما حييت ، فالواقع أن الفضل فى كل ما لهذه الترجمة من حسنات راجع إليه ، أما ما قد يكون بها من عيوب— ولو أنى بذلت غاية جهدى لتسلم منها — فذلك خطيئتى وحدى ، وعلىّ وزرها » .

مقدمة

قد يتساءل القارئ لماذا سمينا كتاباً يستهدف سرد آخر ما توصلت إليه الفزياء الحديثة فى مجال أضداد الجسيمات : « المادة وضد المادة » . إن السبب فى ذلك راجع إلى أن الاكتشاف الحديث « لضد البروتون » و « ضد النيترون » إذ أكمل قائمة « أضداد الجسيمات » قد أدى إلى ظهور اصطلاح « ضد المادة » . ونحن نستعمل هذا الاصطلاح بحذر لكى – على الأقل – نعيده إلى أوضاع أكثر تواضعاً من تلك التى دفعته إليها فى بعض الأحيان الصحافة العلمية .

إن الإعلام العلمى وهو ممتاز فى حد ذاته لا يخلو من الضرر عندما يتصدى للفزياء الحديثة إذ فى هذا المجال حيث تتولى التعبيرات الرياضية تصوير الشىء الحقيقى يصعب على القارئ متابعة تسلسل هذه التعبيرات – وغالبا ما يكون شاقًا – فى حين أنه على العكس من ذلك يسهل جداً على الراوى أن يستسلم للخيالات وشطحاتها .

إن الاهتمام الذى تثيره أضداد الجسيمات لا يبرره كونها موضوع الساعة ؛ فالنظرية التى تنبأت بوجود أضداد الجسيمات نشرت فى مارس عام ١٩٣٠ وأول هذه الأضداد (الألكترون الموجب) شوهد وحددت شخصيته فى عام ١٩٣٣ ولم تتعد أخباره فى ذلك الحين النطاق الضيق للدوائر المتخصصة .

أما اليوم فقد قدمت الجسيمات الجديدة (ضد البروتون وضد النيترون) فور التعرف عليها إلى الجمهور . وبينما كان الفزيائيون يتعقبون الأسرار التى كانت لاتزال تحيط بها ، ابتدأت أوساط التبسيط العلمى تلقى التعليقات على خواص « ضد المادة » .

ومسألة أضداد الجسيمات وإن لم تكن مشكلة الساعة حقيقة فإنها ليست أقل أهمية من حيث المشاكل التى تجلبها والأسئلة التى تثيرها .

لقد أيد اكتشاف «ضد البروتون » و « ضد النيترون »عمومية نظرية قدمها رياضى إنجليزى شاب اسمه ديراك إلى الجمعية الملكية بلندن فى السادس من ديسمبر عام١٩٢٩ .

والآن . . . هل تسمح لنا خواص أضداد الجسيمات أن نتصور إمكان تكوين « ضد النواة السالب » عن طريق اتحاد هذه الأضداد حتى يكوّن ضد النواة السالب هذا مع الألكترونات الموجبة « ضد الذرة » . . . ؟ ألا يكون هذا هو بناء ما أسميناه ضد المادة .

إننا نود هنا أن نوضح فى أعقاب أى اكتشافات وصلت الفزياء الجسيمية إلى وضع هذا السؤال — وذلك بقدر ما نستطيع فى الحدود التى يسمح بها الكتاب — أى أن نلخص دون تشويه أبحاثاً استغرقت من أكبر ثقات العلم ما يزيد على ثلاثين عاماً كاملة .

الفصل الأول

الأشكال المختلفة للذَّرية

لم تسمع جماهير الناس شيئاً عن الذرة ولا عن نواتها حتى غداة قنبلة هيروشيما مع أن العلماء كانوا يتوقعون منذ أمد طويل أن يكون فيهما مخازن هائلة للطاقة . إن الذرة ولم تكن قد وصلت حتى إلى منهج الفزياء للثانوية العامة لم تلبث أن احتلت فجأة مكان النجوم على صفحات الجرائد .

لقد سنحت الفرصة منذ ذلك الحين للكلام عنها فبعد القنبلة الذرية جاء دور القنبلة الهيدروجينية وكذلك أيضاً قنبلة الكوبالت ثم البطاريات والمحطات النووية ثم استخدامات العناصر المشعة فى الطب وعلم الحياة . ومنذ عشر سنوات خلت أدخلت سلسلة من الغزوات والتطبيقات كلمة « الذرة » ضمن المفردات اللغوية التى تجرى على الألسنة كل يوم .

ومع ذلك يجدر بنا أن نتناول من جديد موضوع بناء المادة حتى يتعرف القارئ على العناصر التى تتكون منها هذه المسألة . وسوف يتيح لنا سرد تاريخى موجز لتطور فكرة الذرة إبراز الأشكال المختلفة للفكرة الذرية كما سيتيح لنا فرصة توضيح المعالم الرئيسية للفزياء الحديثة .

يصاحب الفكرة الجديدة أية فكرة فى بدايتها موقف مشوش هو استحالة فى المضى قدما ، بل أحيانا تعارضا ويتعثر العلم فى طريقه إلى أن يأتى يوم يتقدم فيه أحد العلماء بفرض يتيح لنا تناول الأمر بطريقة مغايرة أى « بكلمة » تزيح التعارض بشرط أن تتضمن تعريفا محدداً حتى ولو خاطرت بزعزعة الأفكار السائدة أو المنطق السليم أو حتى العقل .

هكذا تسنح لنا التصورات الجديدة أحيانا على شكل « كلمة » دون أن تلتصق بها أى صورة ما . فعندما وضحت للعيان الطبيعة الموجية للضوء وكان ذلك فى القرن التاسع عشر وجد العلماء أنفسهم على الفور فى مأزق . إن الموجة تنتشر

فى وسط مرن يتذبذب تحت تأثير قوة . فالهواء يتذبذب وينتشر الصوت وهو إذاً الوسط المرن الذى يقوم بوظيفة الحامل للصوت ولا يستطيع الصوت أن ينتشر فى الفراغ . ولكن . . . ألا يعم الفراغ الفضاءات بين الكواكب والنجوم تلك الفضاءات التى يعبرها الضوء بسرعة ٣٠٠٠٠٠ ك.م فى الثانية . . . ؟ هل يكون الفراغ إذاً وسطا مرنا قادراً على حمل الموجة الضوئية . . . ؟ هنا تفجر تعارض واضح مطلا برأسه وسط موقف مضطرب لا ينقصه التشوش من قبل .

ولكن « كلمة » أتاحت لنا مخرجاً من المأزق وكانت تلك الكلمة هى « الأثير » إنه ذلك الوسط المرن الذى يبحث عنه العقل . ومن ثم أصبح الضوء اهتزازاً أثيريًّا . ولكن الأثير ما هو . . . ؟ لم يجرؤ أحد على أن يتوقف كثيراً عند تعريفه أو عند خواصه فقد كانت تلك الخواص مسرفة وغاية فى المبالغة .

ومع ذلك ظل الأثير مريحاً فترة من الزمن .

ولكن . . . إذا كانت « كلمة » قد تحاشت تعارضاً فإن الأمر لايمكن أن يظل عند هذا الحد طويلا وإلا تحولت الفزياء سريعا إلى ميتافزياء(١) .

إن هذه « الكلمة » يجب بعد ذلك أن تتيح لنا تفسيراً وأن تتكامل فى مجموع توسعه هى بنفسها .عند ذلك تتكون حول « الكلمة » « صورة » وعملية التكوين هذه تتطلب هندسة وميكانيكا وهنا نلمح تسلل الرياضة إلى الفزياء .

وهذه الصورة تستخدم كحامل للفكرة العلمية وهى تجسد لفترة من الزمن الحقيقة الفزيائية . ونقول لفترة من الزمن فقط لأن العلم لا يتوقف سيره حتى ولو كان يملك مذهباً تفسيريًّا كاملا ومتماسكا إذ لابد أن يأتى يوم تحتاج فيه تجربة جديدة إلى تفسير وقد تأبى الصورة متعثرة أن تجارى النتائج الجديدة . عند ذلك تستكمل تلك الصورة بإدخال عناصر جديدة فيها وهذه العناصر المضافة إليها تثقل كاهلها ثم تستجد تجارب جديدة تقابلها نتائج جديدة وإضافات جديدة ونتيجة لذلك تنهار الصورة وتتحطم .

وأحياناً تجد الصورة هندستها وقد نخرتها صيغيَّة مجردة وتنتهى بأن تتوارى خلف « شكل رياضى » يقوم وحده بالتفسير والاستطلاع .

---

(١) إنى أفضل اصطلاح ميتافزياء على ميتافيزيقا لأن الأول أخف على السمع وأسهل نطقاً كما أن كلمة الفيزيقا اصطلاح مترجم بينما « الفزياء » كلمة عربية فيما أعلم . (المترجم)

لقد مرت فكرة الذرة بهذه الأطوار المختلفة : « كلمة » ثم « صورة » ثم « شكل رياضى » [١] وهذا صحيح بالنسبة إلى الألكترون .

لقد لجأ الإغريق إلى فكرتى الفراغ وتجزؤ المادة لتحاشى التضارب القائم بين التجارب المحسوسة وخواص « الكائن » . فقد كان الكائن . الذى يوجد حقاً — تبعاً لتعريفه أبدياً لا يتغير ولا يتحرك . ولكى يفسر لوسيب وتلميذه ديموكريت الحقيقة التى تتمثل فى التحول والحركة عمداً إلى تجزئة الكائن فراغيا إلى أجزاء سمياها « الذرات » وكانت الذرات مثلها فى ذلك مَثَلُ الكائن أبدية لا تتبدل ولكنها تتيح لنا التلاقى مع التجربة .

« إننا نتكلم عن الحلو والمر والبارد ونتكلم أيضاً عن اللون ولكنه ليس هناك حقاً إلا الذرات والفراغ » . (ديموكريت)

لم تكن الذرة عند مولدها إلا كلمة لها خواص معينة لا تشكيلية هى خواص الكائن . ولم يكد يمضى قرن من الزمان حتى حاول الإغريق أنفسهم رسم الذرة : إن الحاجة إلى تفسير المادة دفعتهم إلى تخيل شكل الذرة وحركتها .

لقد كان لذرات أبيقور تمثيلا هندسياً أما ذرات لوكرتيس فقد كانت أكثر تفصيلا ولكن التفصيلات لم تكن تتناول إلا سطحها ولم يثر أحد أى إشكال فيما يتعلق بالبناء الداخلى لهذه الحبة النهائية من المادة . لقد كان ينبغى أن نستطيع باستخدام نموذج سطحها تفسير الظواهر المعروفة .

ولم يظل الحال على ذلك المنوال فى القرن السابع عشر عندما أراد العلماء أن يطبقوا على الذرة قانون الجذب لنيوتن . لقد عرفنا آنذاك الدور الذى تستطيع أن تلعبه الرياضيات فى الفزياء . « إن أحداً لا يستطيع أن يفهم الكتاب الكبير للكون إذا كان يجهل اللغة التى كتب بها وهى اللغة الرياضية » (جاليلى) .

لقد أتاح لنا قانون جذب الكتل أن نوضح قوانين كيلر لحركات الكواكب وينبغى أن نطبقه على الذرة على كل كتلة الذرة . هكذا اخترقت الرياضيات سطح الذرة

---

(١) كلمة كما فى أيام الإغريق ثم صارت صورة حتى إلى أوائل القرن العشرين على يد رذرفورد وطومسون ثم جان بران وأخيراً أصبحت شكلا أو تعبيراً رياضياً على يد إينشتين ثم ديراك . (المترجم)

الذى ظل حتى ذلك الحين محط خواصها. لقد أرغمت الرياضيات وقانون الجذب العام الفزيائيين على التطلع إلى البناء الداخلى للذرة .

ولكن التجربة لم تكن بعد مستعدة لذلك . وسوف نرى أى وسائل فعالة تعين استخدامها للتسلل إلى داخل الذرة ولم يكن القرن الذى عاش فيه نيوتن يملك تلك الوسائل ولذلك ظلت الفكرة الذرية — بعد أن تخلصت من تفاصيل ساذجة كانت تعلق بسطحها — عند حافة التجريد .

فى القرن التالى شهدنا انطلاقاً جديداً فقد أوضح الكيميائيون الإيجابيون — وقد ألهمتهم فى الخفاء نظريات ديموكريت الذرية — أن قوانين اتحاد الأجسام تبدو كما لو كانت تترجم تجزؤاً فى المادة . وهكذا بعد عشرين قرناً ولِدَت الذرة : « حبة المادة » من جديد ولكن على أسس تجريبية هذه المرة .

لقد عادت الذرة بمولدها الجديد إلى حالة الكلمة .

(لو كان الأمر بيدى لحذفت كلمة « الذرة » من العلم مقتنعا أنها تتجاوز حدود التجربة وينبغى علينا فى الكيمياء أن لا نتخطى التجربة أبداً) (دوماس)

ولقد سادت الذرات والحتمية طوال القرن التاسع عشر كله مجال العلم . لقد حسبنا الأعداد المنتسبة للعناصر وحصلنا على تفسير لخواص الغازات بافتراض تكوينها من جسيمات دائبة الحركة تامة المرونة ورغم وصولنا إلى تقدير قطر الذرة ($١٠^{-٨}$سم) لم نحاول بناء نموذج لها .

لقد كان ينقصنا شىء ما لكى تخطو الفكرة الذرية قدماً .

وفى أثناء القرن العشرين بدأت الذرة — وكانت من قبل لا تتجزأ فى رأى ديموكريت صماء البناء مصمتة فى رأى نيوتن وهى لا يمكن اختزالها تعريفاً — تتفتت فى أيدى الفزيائيين الذين أصبحوا يملكون وسائل دراسية جديدة خصوصا مرور التيار الكهربائى فى الغازات . وزادت الفكرة الذرية ثراءً نتيجة لهذا التفتت لأن العناصر المكونة كانت كفيلة بأن تسمح بتكوين « صورة » وتفسير خواص المادة .

ليست الغازات عوازل تامة ويجب على التيار عند عبورها أن يسلك نفس السلوك الذى يسلكه عندما يمر فى محلول موصل للكهرباء . ونحن نذكر أن عدد الذرات

التى تتولد فى ظاهرة التحليل الكهربائى يتناسب مع الشحنة الكهربائية التى تعبر المحلول . ولقد قادتنا هذه النتيجة حوالى عام ١٨٨٠ إلى فكرة وجود شحنة أولية من الكهرباء أطلق عليها اسم « الألكترون » .

ودراسة مرور التيار فى غاز أبسط مما تقدم وذلك راجع إلى أن الحبيبات فى الغاز منعزلة عن بعضها البعض وأنه لا مجال هنا لأن تتدخل أى قوى أخرى سوى القوى المتولدة من تصادمات الذرات .

إننا نشاهد عند ضغوط شديدة الانخفاض (حوالى ١٠^-٥^مم زئبق) ظهور أشعة صادرة عن المهبط تولد على جدار الأنبوبة المقابل للمهبط رقعة مومضة .

ولقد أتاحت لنا دراسة أشعة المهبط (انحرافها تحت تأثير المجالات المغناطيسية والكهرباء) اكتشاف أنها مكونة من جسيمات سالبة الشحنة ومزودة بسرعات كبيرة ولقد عثرنا على الألكترون فيها .

لقد تميزت هذه الحبات من الكهرباء بميزتين : شحنتها الكهربائية e وكتلتها ك.

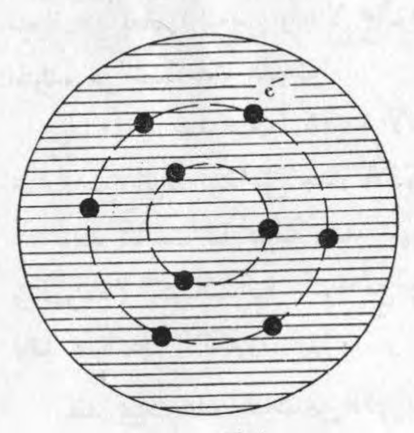
ولقد فسر العلماء مرور التيار الكهربائى فى المحلول الموصل للتيار على النحو التالى :

يتحلل الجزىء من جسم مركب عند الذوبان إلى أيونين . واحد مشحون كهرباء موجبة والآخر مشحون كهرباء سالبة . فكلورور الصوديوم مثلا المذاب فى الماء يوجد فيه أيون كلورسالب (—) وأيون صوديوم موجب(+) ويتم انتقال الشحنات عن طريق المجال الكهربائى القائم بين القطبين . فينتقل الصوديوم (+) إلى المهبط والكلور (—) إلى المصعد .

ويفسر مرور التيار الكهربائى فى غاز تحت ضغط واطئ إذا سلمنا أنه يوجد فى المجال الكهربائى الشديد القائم بين الأقطاب أيونات موجودة فى الغاز من قبل تتعجل بواسطة المجال الكهربائى بحيث تصبح قذائف قادرة على تحطيم الذرات الأخرى المتعادلة . والألكترونات التى تكوِّن أشعة المهبط تنتج عن هذا التحطيم وهى تتعجل فى اتجاه يضاد تلك البقايا الذرية أو الأيونات الموجبة التى تكوِّن أشعة القناة .

وما دمنا قد استطعنا أن نقتطع الألكترونات من كل أنوع الذرات فإن هذه الحبات من الكهرباء لابد أن تكون إحدى مكونات الذرة . وهنا واجهتنا مرة أخرى المشاكل والصعاب فى تصور بناء الذرة .

لقد تخيل ج . ج ثومسون أن الألكترونات تتوغل فى داخل كرة متجانسة وغير قابلة للانقسام من الكهرباء الموجبة وتستمر فى التوغل إلى أن يتحقق بالنسبة لكل إلكترون منها توازن بين التجاذب الكولومبى الناتج عن الشحنة الموجبة والتنافر الناتج عن الألكترونات الأخرى .



(شكل ١)
الذرة تبعاً لتصور ج. ج ثومسون
تضم كرة من الكهرباء الموجبة
الإلكترونات السالبة

وبواسطة هذا النموذج شرع العلماء فى تفسير بعض خواص المادة التى كانت معروفة حتى ذلك الحين : — انبعاث الضوء المرئى من الأجسام المسخنة إلى درجات حرارة عالية، انبعاث أشعة إكس — من نفس طبيعة الضوء المرئى لكن طول موجتها أصغر كثيراً — عندما تصطدم أشعة المهبط بجسم مادى يعترضها .

— انبعاث ثلاثة أشكال من الإشعاع من الذرات الثقيلة هى الإشعاعات : الفا وبيتا وجاما، وكان ذلك هو النشاط الإشعاعى الطبيعى الذى اكتشفه بيير ومارى كورى ويشمل :

١ — أشعة الفا وتشبه قليلا أشعة القناة (أجزاء من الذرات مشحونة إيجابياً) ولكنها أسرع كثيراً من هذه الأخيرة وقد وجد أنها تماثل تماماً ذرات من الهليوم مؤينة مرتين (هليونات) .

٢ — أشعة بيتا ولها سرعات أكبر من سرعات أشعة المهبط وتتكون مثلها من الألكترونات السالبة .

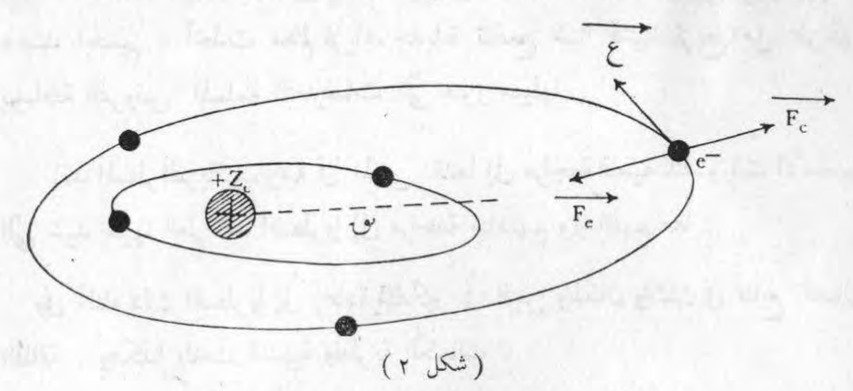
٣ — أشعة جاما مشابهة لأشعة إكس ولكنها أكثر نفاذاً منها بكثير .

ولقد حاول ج. ج. ثومسون فى نموذجه أن يفسر انبعاث الضوء وأشعة إكس بأن تخيل أن هناك اهتزازات سريعة نوعا ما للألكترونات .

وفى صورة كهذه بها إلكترونات موزعة على حلقات فى داخل كرة مشحونة

إيجابيًّا كانت اهتزازات الحلقات الداخلية تفسر انبعاث أشعة إكس واهتزازات الحلقات الخارجية انبعاث الضوء المرئى .

ولكن جان بران قدم نموذجاً آخر يتخيل فيه أن كل ذرة تماثل مجموعة شمسية مصغرة تدور فيها الألكترونات على مسافات شاسعة نسبيًّا حول « شمس » من الكهرباء الموجبة فى مدارات تتوازن فى كل نقطها قوة الكهرباء وقوة القصور .



(شكل ٢)

الذرة تبعاً لجان بران تدور الإلكترونات حول الشحنة المركزية

وبعد تجارب رذرفورد المتعلقة بانحراف جسيمات ألفا أثناء عبورها شاشة معدنية عاد العلماء إلى نموذج جان بران وجعلوه أكثر دقة بينما نبذوا نموذج « ج . ج. ثومسون » فلكى تستطيع قذيفة ما أن تعبر دون انحراف رصا من عدة آلاف من الذرات ينبغى أن لاتكون هذه الذرات «مليئة مصمتة» كما كان يتخيلها ج. ج. ثومسون . أما الذرة الكوكبية فإنها على العكس من ذلك بما تضمه من الفراغات الهامة فإنها يمكن أن تتمشى مع التجربة .

هكذا توشك صورة الذرة أن تتضح .

فى المركز شحنة موجبة يتركز فيها مجموع الكتلة تقريباً . أنها النواة . لقد أمكن تقدير نصف قطرها من التجارب السابقة فوجد أنه يبلغ حوالى ١٠$^{-8}$سم وعلى ذلك تكون النواة التى تتمركز فيها كل الشحنة الموجبة للذرة أصغر ١٠٠٠٠٠ مرة من الذرة. وهذا الفضاء الضخم الذى يغلف النواة يحتوى على الشحنات السالبة تلك الألكترونات الكوكبية التى تدور حول النواة بسرعات كبيرة نوعا ما والتى يكون عددها بحيث يجعل النواة متعادلة كهربائيا .

وما إن تكاملت لدينا هذه الصورة حتى تحتم علينا أن نمضى ثانية فى ناحية التفسير وهنا بدأت تواجهنا الصعاب من جديد وأطلت التناقضات برأسها .

لقد كان علينا أن نقوم بعدد معين من الحسابات والتجارب الدقيقة قبل أن نستطيع ترتيب موكب الألكترونات فى الذرة بحيث يتمشى مع كل النتائج التجريبية، وفى خلال هذه الأبحاث التى قادتنا ضمن ما قادتنا إليه من النتائج إلى فكرة « ضد الجسيم » أخذت معالم فزياء جديدة تتضح شيئا فشيئا تزيح من طريقها بوساطة الفروض المسلمة التعارضات التى تعتور سبيلها .

لقد اضطر الفزيائيون رغبة فى المضى قدما إلى مراجعة قاسية للتصورات الأساسية التى شيد عليها العلم لقد اضطروا إلى مراجعة مبادئهم ووسائلهم معا .

وفى أثناء ذلك اضطروا إلى إعادة التفكير فى الزمن والمكان والشك فى طابع اتصال الطاقة . وهكذا ولدت النسبية ونظرية الكمات .

لقد شاهد الفزيائيون الاحتمالات وهى تتسلل بصورة أساسية إلى الفزياء الجديدة معطية إيانا الميكانيكا الموجية .

سوف نحاول أن نرسم سريعاً الخطوط العريضة لهذه النظريات وأن نوضح مدى العون الجديد الذى قدمته لنا حمايةً للفزياء من أعاصير المواقف الصعبة التى هبت عليها فى مجرى القرن العشرين .

لقد بنى العلماء بعد النسبية والكمات نموذجا للذرة . كان هذا النموذج يقبل الفروض الضرورية على شريطة أن تتيح لنا بناءات صلبة تتمشى مع التجارب التى أخذت تزداد دقة .

وارتفعت الفزياء إذ دخلتها الميكانيكا الموجية فى مدارج التجريد . وهنا رفضت الذرة أن تئول إلى مجرد هندسة ومن ثم عتمت الصورة التى رسمناها للذرة متخفية وراء « الأشكال الرياضية » .

وفى أثناء هذه الفترة التى بدى فيها أن الحقيقة قد زاغت عن أعيننا صاغ ديراك نظرية تعمم النظريات السابقة عن الألكترون إذ أدخلت النظرية النسبية فى الميكانيكا

الموجية . وفى سياق هذا التعميم استجدت معادلات جديدة يمكن أن تُفسر حلولها كما لو كانت تترجم وجود جسيمات جديدة لم تكن معروفة من قبل هى « ضد الجسيمات » .

وفى الوقت الذى كنا نظن أنفسنا بعيدين كل البعد عن الحقيقة وعلى حين لم تكن لدينا صورة متناسقة استعادت الفزياء صلتها بالتجربة وازدادت ثراء بأنواع جديدة من الجسيمات .

الفصل الثانى

النسبية

كان إميل بورل يقول عن نظرية النسبية: « لقد أعطانا أينشتين فى آن واحد نظرية فزيائية وطريقة جديدة للنظر إلى العلم » .

والحق أنها مهمة شاقة جداً أن نحاول أن نشرح للعامة نظرية قلبت رأساً على عقب أكثر تصوراتنا ألفة وهما تصورا المكان والزمان(١) .

ومع ذلك فإن فهم هذه النظرية أمر ضرورى بالنسبة للموضوع الذى نعالجه هنا وهو مغزى ضد الجسيمات .

ولكى نوضح بطريقة أفضل جدة أفكار أينشتين وطرافتها سنعالج أولا الملامح الأساسية للميكانيكا الكلاسيكية ميكانيكا نيوتن .

تعتمد الميكانيكا فى دراسة الحركة (السينماتيكا) على مقدارين المكان والزمان وهما مستقلان فى الميكانيكا القديمة .

إننا لا نستطيع أن ندرس حركة الجسم المتحرك ل فى الفضاء دون الالتجاء إلى مجموعة إسناد . ومثل هذه المجموعة تشمل نقطة ا صل م وثلاثة اتجاهات متعامدة م س ، م ص ، م ش .

ويتحدد المتحرك ل فى المكان بإحداثياته الثلاثة س ، ص ، ش ، وهى دوال للزمن ز . ومن ثم يتميز ل بأربعة مقادير ثلاث مكانية وواحد للزمن .

ويتحرك ل فى هذا الفضاء الفزيائى ثلاثى الأبعاد فى مسار تدخل دراسته فى اختصاص الهندسة .

---

(١) لا شك أن نظريات النسبية بما تضمنته من أفكار ثورية جديدة ليست دائماً سهلة الفهم ويستطيع القارئ الذى يود أن يستزيد هذا الموضوع فهماً أن يلجأ إلى كتاب « النسبية » تأليف أينشتين وترجمه كاتب هذه السطور . (المترجم)

والهندسة تعالج خواص الإنشاءات التى يمكن تحقيقها فى المكان ومن ثم كان لزاماً علينا أن نحدد عدداً معينا من العناصر الضرورية لتحقيق هذه الإنشاءات .

إن الوحدة الأساسية فى الهندسة الإقليدية هى الخط المستقيم وله خواص منحت له بطريقة أولية .

وتتضمن هذه الهندسة مسلمة تنص على أننا لانستطيع أن نقيم من نقطة خارجة عن المستقيم إلا موازياً واحداً لهذا المستقيم .

وهذا الإيضاح البسيط الذى تقدمه لنا الهندسة الإقليدية يلم على المستوى البشرى بخواص الفضاء الذى يحيط بنا .

وينبغى الآن أن نحدد خواص الزمن كما حددنا خواص المكان إننا نستطيع اعتبار الزمن على مستوانا مستقلا عن المكان وأنه يمضى بانتظام . وعلى ذلك يصور الزمن بمقدار « ز » مستقلاً عن المقادير الثلاثة س ، ص ، ش للمكان .

الآن وقد قبلنا تعريفات معينة للزمن والمكان ينبغى علينا من أجل قياسهما أن نختار مجموعة إسناد وهناك مجموعتا إسناد ممكنتان :

محاور كوبرنيك : نقطة الأصل هى مركز ثقل المجموعة الشمسية والمحاور الثلاث م س ، م ص ، م ش تتجه تبعا للنجوم الثابتة .

محاور جاليلى : ومجموعة الإسناد الجاليلية مجموعة محاور تتحرك بحركة انتقال منتظمة فى خط مستقيم بالنسبة إلى محاور كوبرنيك والنقطتان (م) ، (مَ) فى الفضاء الإقليدى ثلاثى الأبعاد والمتجاورتان إلى درجة متناهية والتان تحددهما الأحداثيات .

$$\text{م} \begin{cases} \text{س}_1 \\ \text{ص}_1 \\ \text{ش}_1 \end{cases} \quad ، \quad \text{مَ} \begin{cases} \text{س}_2 = \text{س}_1 + \text{ءس} \\ \text{ص}_2 = \text{ص}_1 + \text{ءص} \\ \text{ش}_2 = \text{ش}_1 + \text{ءش} \end{cases}$$

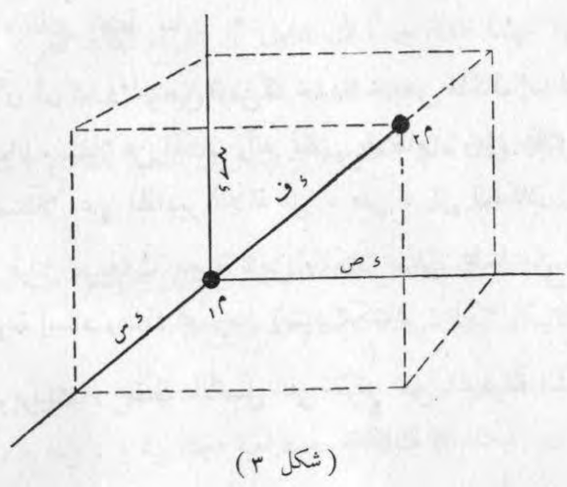
ء س ، ء ص ، ء ش تمثل تغيرات متناهية الصغر للأحداثيات س ، ص ، ش ، تكون المسافة بينهما م مَ = ء ف .

وبتطبيق نظرية فيثاغورث نحصل على العلاقة البسيطة التالية :

ى ف^{٢} = ى س^{٢} + ى ص^{٢} + ى ش^{٢}

وهذا التعبير عن الوحدة ى ف٢ تعبير يميز الفضاء الإقليدى والكون الإقليدى ليس للزمن فيه محلة فى تعريف المكان ولا يظهر فيه أى مقدار فزيائى .

كيف يمكن أن ننتقل من مجموعة جاليلية إلى مجموعة جاليلية أخرى ؟ أو بعبارة أخرى إذا كانت النقطة ا (سَ ،صَ شَ ، زَ) محددة فى مجموعة إسناد مَ وفى حالة حركة منتظمة ع بالنسبة إلى مجموعة إسناد أخرى م . كيف نستطيع تحديد ا (س ، ص ، ش ، ز) بالنسبة إلى المجموعة الأخيرة ؟



(شكل ٣)

تعريف ى ف الإقليدى .

م$_{١}$ (س$_{١}$ ، ص$_{١}$ ، ش$_{١}$)

م$_{٢}$ (س$_{١}$ + ى س ، ص$_{١}$ + ى ص ، ش$_{١}$ + ى ش)

م$_{١}$ م$_{٢}$ = ى ف

ى ف^{٢} = ى س^{٢} + ى ص^{٢} + ى ش^{٢}

ولتبسيط المسألة دعنا نتخيل أن حركة (مَ) بالنسبة إلى (م) تحدث على طول المحور س (شكل ٤) وأنه فى اللحظة ز = صفر تتطابق م ، مَ

ز = صفر
ز > صفر

(شكل ٤)

القاعدة الكلاسيكية لتركيب السرعات م ا = م مَ + مَ ا ، س = ع ز + سَ

واضح جداً أن الأحداثيات التى تحدد ا تبعاً لاتجاه الانتقال هى وحدها التى تتغير ونحصل عند ذلك على مجموعة التحويل التالية وتسمى مجموعة تحويل جاليلى :

سَ = س – ع ز
صَ = ص
شَ = ش
زَ = ز

التى تسمح بالانتقال من :

ا (س ، ص ، ش ، ز) بالنسبة إلى م إلى اَ (سَ ، صَ ، شَ ، زَ) بالنسبة إلى مَ

وبواسطة معادلات التحويل هذه نستطيع التحقق بسهولة من أنه إذا كانت المسافة بين نقطتين ثابتتين من مَ مثل ا ، اَ ترى فى مجموعة الإسناد مَ بالطول ا اَ فإنها ترى بنفس الطول ء ف فى مجموعة الإسناد م .

ونحن نعبر عن ذلك بأن نقول : إن تحويل جاليلى يترك الأطوال لا متغيرة .

وهذا التحويل يترك أيضاً بلا تغييرات المعادلة الأساسية فى الديناميكا النيوتونية التى تكتب هكذا :

$\vec{F}$ = كَ $\vec{\gamma}$ حيث γ هى العجلة التى يأخذها جسم كتلته م يقع تحت تأثير قوة مقدارها $\vec{F}$

« ولا تغير معادلات الميكانيكا الكلاسيكية مع تحويلات جاليلى يعنى أن أية تجربة فى الميكانيكا لن تسمح بإظهار حركة المجموعة مَ بالنسبة إلى المجموعة م » .

إن عدم تغير شكل قوانين الميكانيكا عندما تتغير مجموعة الإسناد أمر مقبول ولكنه أمر لا يمكن قبوله أن يتغير شكل قوانين الكهرامغناطيسية مترجمة بمعادلات ماكسويل عندما تنتقل من مجموعة إلى أخرى . ولكن أولا هل هذا صحيح تجريبياً ؟ إذا كان هذا صحيحاً ينبغى أن نستطيع عن طريق تجارب تتدخل فيها ظواهر

كهرومغنطيسية مثل ظاهرة انتشار الضوء أن تكشف عن الحركة النسبية للأرض بالنسبة إلى الأثير .

لقد تولدت نظرية النسبية من هذا الاختلاف بين معادلات الميكانيكا ومعادلات الكهرومغناطيسية . إذ عند ما احتكمنا إلى التجربة ولدت نظرية النسبية من النتيجة السلبية لتجربة ميكلسن – مورلى .

ودعنا نستطرد هنا قليلا . لقد كان الضوء فى رأى فرزنل اهتزازاً فى الأثير وكان هذا الأخير إذاً يصور (وسطاً مرناً) حاملاً للأمواج المضيئة وكان هذا الوسط يملأ الكون .

وعند ما أوضح ماكسويل أنه يمكن تفسير الضوء باعتباره انتشاراً لمجال مغناطيس مرتبط مع مجال كهربائى تضاءلت أهمية الأثير وأصبح مجرد الوسط الذى تنطبق عليه معادلات ماكسويل .

إن الأرض تنتقل بالنسبة للأثير فى مدارها السنوى حول الشمس بسرعة تبلغ حوالى ٣٠ كم فى الثانية فإذا كان الأثير ساكناً ينبغى أن يكون فى استطاعتنا أن نظهر حركة الراصد بالنسبة له . ولقد كانت تجربة ميكلسن مورلى التى أشرنا إليها توًّا تهدف بالدقة إلى هذا .

دعنا الآن نتخيل أننا ربطنا فى الأثير مجموعة محاور م س وفى الأرض مجموعة أخرى مَ سَ إن هذه المجموعة الأخيرة تكون فى حركة انتقال منتظمة فى خط مستقيم سرعتها $\vec{ع}$ بالنسبة إلى المجموعة م س .

ولنفرض أن مصدراً ضوئيًّا موضوعاً فى م فى المجموعة الأولى يرسل موجة ضوئية تنتشر بالسرعة $\vec{ج}$ فى اتجاه المحور م س ونصور هذه الموجة بنقطة ل تنتقل بالسرعة $\vec{ج}$ فى مجموعة الإسناد م س .

والآن نقيس فى المجموعة مَ سَ الزمن الذى تستغرقه هذه الموجة لتقطع المسافة ا ب = ن .

الحالة الأولى : ع = صفر وتكون المجموعة مَ ساكنة بالنسبة إلى المجموعة م .

ويستغرق الضوء لكى يقطع ا ب الزمن « $ز_1$ »= $\frac{ن}{ج}$

الحالة الثانية : ع > صفر والمجموعة مَ تنتقل بالنسبة إلى م فى الاتجاه الموجب لِـ م س والسرعة النسبية للنقطة ل فى المجموعة مَ

هى ج ـ ع والزمن الذى يلزم لقطع ا ب : $ز_{٢} = \frac{ن}{ج - ع}$

الحالة الثالثة : ع < صفر والمجموعة مَ تنتقل بالنسبة إلى م فى الاتجاه السلبى لِـ م س .

والسرعة النسبية للنقطة ل فى المجموعة مَ هى ج + ع والزمن الذى يلزم لقطع

ا ب : $ز_{٣} = \frac{ن}{ج + ع}$

وبالاختصار ينبغى أن نلاحظ أن : $ز_{٢} > ز_{٣}$ ، $ز_{٢} > ز_{١} > ز_{٣}$

(شكل ٥)

ولقد كانت نتيجة تجربة إظهار تغير سرعة الضوء سلبية فالقاعدة الكلاسيكية لتركيب السرعات لا تنطبق هنا .

إن سرعة الضوء ثابتة ومستقلة عن حركة المصدر بالنسبة إلى الراصد .

ولقد وضع لورنتز متقيداً بتجربة ميكلسن مورلى معادلات جديدة للتحويل تسمى مجموعة لورنتز وهى تتقيد بثبوت سرعة الضوء والغرض منها هو أن تحل محل مجموعة جاليلى .

وبنفس الرموز السابقة نجد :

$$\bar{\text{س}} = \text{س} - \text{ع ز} \Big/ \sqrt{1 - \frac{\text{ع}^2}{\text{ج}^2}}$$

$$\bar{\text{ص}} = \text{ص}$$

$$\bar{\text{ش}} = \text{ش}$$

$$\bar{\text{ز}} = \text{ز} \quad \frac{\text{ع س}}{\text{ج}^2} \Big/ \sqrt{1 - \frac{\text{ع}^2}{\text{ج}^2}}$$

فإذا كان $\frac{\text{ع}}{\text{ج}}$ صغيراً أى إذا كانت سرعة $\bar{\text{م}}$ بالنسبة إلى م صغيرة مقارنة بسرعة الضوء وجدنا مرة ثانية معادلة جاليلى وعلى الأخص $\bar{\text{ز}} - \text{ز}$.

إن مسطرة مربوطة بإحدى مجموعتى الإسناد تظهر أقصر مما هى بالنسبة للراصد الموجود على المجموعة الأخرى ، وبالمثل تبدو الساعة التى مع واحد من الراصدين للراصد الآخر كأنها تدق أبطأ من الساعة التى معه . ويفقد الزمن طابعه المطلق « وتظل معادلات ماكسويل التى يتغير بناؤها عندما يطبق عليها التحويل الجاليلى — لامتغيرة مع مجموعة تحويلات لورنتز » .

وفى عام ١٩٠٥ قدم أينشتين حلا أنيقا لهذه المسائل بعد أن راجع بعمق الأفكار الكلاسيكية عن الزمن والمكان المطلقين وأعلن عندئذ المبدأين التاليين :

١ — قوانين الظواهر الفزيائية وعلى الأخص قوانين الكهرومغنطيسية واحدة فى كل مجموعات الإسناد الجاليلية .

٢ — إن سرعة الضوء واحدة فى جميع الاتجاهات بالنسبة إلى كل المجموعات الجاليلية .

ومعنى المبدأ الأول هو أن تحويلات لورنتز لاتحويلات جاليلى هى صاحبة المغزى فى الفزياء . ومعنى هذا أن أى تجربة ميكانيكية كهرومغنطيسية تجرى من الداخل فى مجموعة جاليلية لا يمكن أن تؤدى إلى إظهار حركة المجموعة بالنسبة إلى مجموعة جاليلية أخرى .

أما المبدأ الثانى فيترتب عليه تحوير فى قانون تركيب السرعات .

إذا كانت ع هى سرعة مَ بالنسبة إلى م ، غ ، غَ سرعة النقطة ل فى هاتين المجموعتين الجاليليتين فقد كانت قاعدة تركيب السرعات فى الميكانيكا الكلاسيكية يعبر عنها ببساطة $غ = ع + غ'$

أما فى الميكانيكا النسبية لأينشتين فتصبح هذه المعادلة :

$$غ = غ' + ع / ١ + \frac{ع\,غ'}{ج^{٢}}$$

فإذا كان المقدار $\frac{ع}{ج}$ صغيراً آل الأمر إلى القانون الكلاسيكى

$$غ = غ' + ع$$

وفى الأمثلة السابقة حيث سرعة ل فى م تساوى ج (غ = ج) بينما تعطينا ميكانيكا جاليلى نيوتن $غ' = ج + ع$ تعطينا ميكانيكا أنشتين $غ' = ج$ مهما كانت سرعة الانتقال ع وهى نتيجة تتفق تماماً مع التجربة .

فى بداية هذا الفصل قلنا إن المقدار ء ف٢ تحدده :

$$ء ف^{٢} = ء س^{٢} + ء ص^{٢} + ء ش^{٢}$$

وهو يميز فضاء إقليديا وأن له نفس القيمة فى كل المجموعات الجاليلية . ولكن تحويلات لورنتز إذ تمدنا بتحديد الزمن ز المرتبط مع حادثة د تقع فى النقطة ل (س ، ص ، ش) تحتم شكلا آخر للمقدار ء ف٢

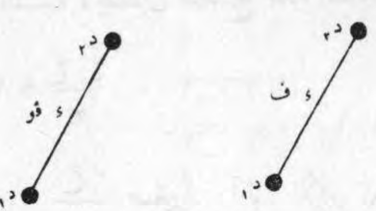
وينبغى الآن أن نشرع فى تصوير حادثة فى فضاء رباعى الأبعاد (س ، ص ، ش ، ز) يسمى كوناً أوزمكان[١] مينكوفسكى .

وإذا تخيلنا حادثتين $د_{١}$ ($س_{١}$ ، $ص_{١}$ ، $ش_{١}$ ، $ز_{١}$) ، $د_{٢}$ ($س_{٢}$ ، $ص_{٢}$ ، $ش_{٢}$ ، $ز_{٢}$) متناهيتى التجاور وموجة كهرمغنطيسية تنتقل من $د_{١}$ إلى $د_{٢}$ وسنسمى وحدة المكان ء فو سيكون شكلها $ء فو = ء س^{٢} + ء ص^{٢} + ء ش^{٢}$ (شكل٦) ، ء ز هو

(١) ليس من الشائع فى اللغة العربية ربط الكلمات معاً بمجرد وضع شرطة بينها إنما الشائع هو النحت المباشر ولذلك كانت كلمة « الزمكان » التى نحتها أستاذنا الكبير الدكتور محمد مرسى أحمد أوفى بالغرض وأفضل أداء للمعنى عن الزمن – مكان . (المترجم)

الزمن الذى تستغرقه الموجة لتقطع وحدة المكان ء فو ، ويستوجب ثبوت سرعة الضوء التى يعبر عنها $\frac{ء فو^{٢}}{ء ز^{٢}}$ = ج٢ شكلا جديداً للمقدار ء ف٢ .

ء ف٢ = ج٢ ء ز ٢ — ء فو ٢ = صفر .



(ءف٢ = - ء ز٢ — ء س٢ — ءص٢ —ء س٢) زمكان فضاء عادى (ء فو٢ء س٢ +ء ص٢ + ء س٢)

(شكل ٦)

وهكذا يكون للتعبير ء ف٢ = ج٢ ء ز٢ — ء س٢ — ء ص٢ — ء ش٢ نفس القيمة فى كل المجموعات الجاليلية ، إنه يظل على حاله كما يبقى المقدار ءف الإقليدى فى الفضاء المعتاد ثلاثى الأبعاد ، أن ء ف هى « فترة الكون » وإذا كانت حادثتان د١ ، د٢ تناظران سرعة أوطأ من ج : ء ف٢ > صفر ، تصبح هذه الفترة صفراً بالنسبة إلى سرعات مساوية لسرعة الضوء ء ف٢ = صفر

إن النتيجة السلبية لتجربة ميكلسن ومجموعة تحويل لورنتز وهى تتقيد بنتيجة هذه التجربة يحتمان تعديلا فى بناء المكان يتداخل فيه الزمن وسرعة الضوء تداخلا أعمق .

وهناك تعديلات أخرى أصبحت محتمة أيضاً فيجب أن تكون معادلات الديناميكا على نحو معادلات الكهرامغنطيسية لا متغيرة بالنسبة إلى تحويل لورنتز . إن معادلات الديناميكا النيوتونية التى كانت لا متغيرة بالنسبة إلى تحويل جاليلى لم تعد كذلك بالنسبة إلى التحويل الجديد .

وإذا سمينا متجه كمية الحركة $\overrightarrow{ك}$ = ك $\overrightarrow{ع}$ لنقطة كتلتها ك تتحرك بسرعة $\overrightarrow{ع}$ فإن المعادلة الأساسية للديناميكا الكلاسيكية $\overrightarrow{F}$ = ك $\overrightarrow{\gamma}$ يمكن كتابتها هكذا :

$$\overrightarrow{F} \qquad \frac{ء \overrightarrow{ك}}{ء ز}$$

وفى الديناميكا النسبية يعبر عن كمية الحركة $\overrightarrow{ك}$ هكذا :

$$\overrightarrow{ك} = ك_. \overrightarrow{ع} \Big/ \sqrt{١ - \frac{ع^٢}{ج^٢}}$$

ونحصل إذاً على معادلة تماثل ($\overrightarrow{ك} = ك_. \overrightarrow{ع}$) بشرط أن نكتب

$$ك = ك_. \Big/ \sqrt{١ - \frac{ع^٢}{ج^٢}}$$

وتظهر هنا أفكار جديدة :

ك. تدل على كتلة السكون للنقطة المادية ،

ك تدل على كتلتها تبعاً للنسبية .

ونرى أن هذه الأخيرة تزيد بزيادة السرعة ع للنقطة المادية . وهذه النقطة المادية التى تبعاً للميكانيكا القديمة تتحرك فى حركة منتظمة فى خط مستقيم بالنسبة إلى محاور جاليلية إذا لم تقع تحت تأثير أى قوة نجدها تبعاً للميكانيكا الجديدة تتحرك فى مسار كونى تكون فيه ى $ف^٢ >$ صفراً فى الزمكان المنكوفسكى . وهذا الأخير ليس إقليدياً مثل فضائنا العادى بل يحتل المستقيم والمستوى فيه مكان الصدارة ، والمسار الكونى للضوء فى هذا الزمكان مستقيمات تكون بالنسبة لها ى ف ٢ = صفر وعلى هذه المسارات المختلفة أو خطوط الكون هناك اتجاه متميز يناظر ى ف ٢ > صفر الذى يتجه من الماضى نحو المستقبل .

وقد كانت طاقة جسيم كتلته ك وسرعته ع فى الميكانيكا الكلاسيكية تحددها طاقة حركته $ق = \frac{١}{٢} ك ع^٢$.

أما فى الميكانيكا النسبية فإن طاقة الجسيم تحددها المعادلة : $ق = ك ج^٢$

$$ق = ك_. ج^٢ \Big/ \sqrt{١ - \frac{ع^٢}{ج^٢}}$$

أو أيضا $ق ٢ = ج^٢ \; (\overrightarrow{ك}^٢ - ك_.^٢ \; ج^٢)$

وإذا كانت السرعة صفراً (ع = صفر) لا تكون الطاقة مع ذلك صفراً

وتمثل قيمتها ك. ج^{٢} قدراً جديداً فى الفزياء . هو طاقة السكون للجسيم . « وهكذا ظهر فى سياق ديناميكا لاتتغير معادلاتها بالنسبة إلى تحويلات لورنتز أن هناك ارتباطاً وثيقا بين الكتلة والطاقة » . لقد كان هذا الارتباط مجهولا من الفزياء الكلاسيكية .ومع ذلك فقد قلب مبدأ قصور الطاقة لأينشتين العالم الحديث رأسا على عقب عندما أشار إلى معين من الطاقة لا ينضب هو المادة .

لقد أدخلت نظرية النسبية الخاصة فى الفزياء أفكاراً صائبة يجدر بنا العودة إليها عندما نتأمل مع ديراك مغزى الجسيمات المادية ذات الطاقة السلبية وينبغى أن نلفت الأنظار فوراً إلى أن التعبير النسبى عن الطاقة :

ق^{٢} = ج^{٢} (ك^{٢} + ك. ٢ ج^{٢}) معناه أن المقدار ق يمكن أن تكون له قيمة سلبية وقيمة إيجابية ق = + ج $\sqrt{\text{ك}^{٢} - \text{ك. ٢ ج}^{٢}}$

وكذلك العلاقة ى ف ٢ = ج^{٢} ى ز ٢ — ى فو ٢ (حيث ى ف يمكن أن تكون سلبية أو إيجابية تسمح بأن تكتب الكتلة تبعاً لنظرية النسبية)

$$\text{ك} = \text{كِ} \; \frac{\frac{\text{ى ز}}{\text{ى ف}}}{\text{ج}}$$

فإذا جعلنا إشارة الحد ى ف موجبة مع ى ز > صفر ، كِ أيضا موجبة تكون الطاقة ق = ك ج^{٢} موجبة .

ولكن ليس هناك من الناحية الرياضية ما يمنع أن نجعل للمقدار ى ف الإشارة السالبة وهذا يؤدى دائماً مع ى ز > صفر إلى قيمة سلبية للكتلة تبعاً لنظرية النسبية ومن ثم للطاقة ق .

ولم يلتفت أحد أول الأمر إلى هذه المسائل ولكن نجاح نظرية الكمات وقيام الميكانيكا الموجية اضطرا الفزيائيين نحو عام ١٩٣٠ إلى البحث فى موضوعها ولقد ساعدتهم التجربة فى أبحاثهم واكتشفوا أضداد الجسيمات .

« لقد لفتت النسبية الخاصة الأنظار — إذ أوضحت الترابط بين المكان والزمان — إلى بناء الفضاء الذى كنا نفرضه بطريق أولية بإقامة هندسة » .

فعندما حاول أينشتين عام ١٩١٦ تعميم النسبية بحيث يعبر دائماً عن قوانين الحركة بما فيها الحركة الناشئة عن قوى الجاذبية بالشكل البسيط الذى اتخذته هذه القوانين فى نظرية النسبية الخاصة قاده ذلك إلى الالتجاء إلى هندسة أعم من هندسة إقليدس .

لقد كانت هندسة ريمان تنكر استقلال المكان عن الظواهر الفزيائية التى تنشأ فيه إذ كانت تنكر مسلمة إقليدس وصاغت حداً ء ف² أعم كثيراً

$$ء ف^2 = \sum ع_{م ن} ء س_{م} ء س_{ن}$$

$$س = س_1 ، ص = س_2 ، ش = س_3 ، حـ ز = س_4$$

ولم يكن باستطاعة الحد ء ف ٢ الإقليدى إلا تصوير كون خال من المادة أما الحد ء ف٢ لزمكان مينكوفسكى فقد كان كافيا للنسبية الخاصة، وبإدخال الحد ء ف٢ لريمان استطاع أينشتين تركيب الهندسة والفزياء معا . إنه يوضح فى الواقع أن تحديد معاملات $ع_{م ن}$ يعتمد على توزيع الكتل فى الكون وهذا الزمكان الجديد رباعى الأبعاد ولا يقبل لاالخط المستقيم ولا المستوى ، لأنه منحن ووصلات[1] الحد د ف ٢ تحدد حركات الكتل وانتشار الضوء .

إن ظهور قوى الجاذبية الذى عبر عنه نيوتن بقانون الجـذب العام

$$F = ب \frac{ك \bar{ك}}{ر^2}$$

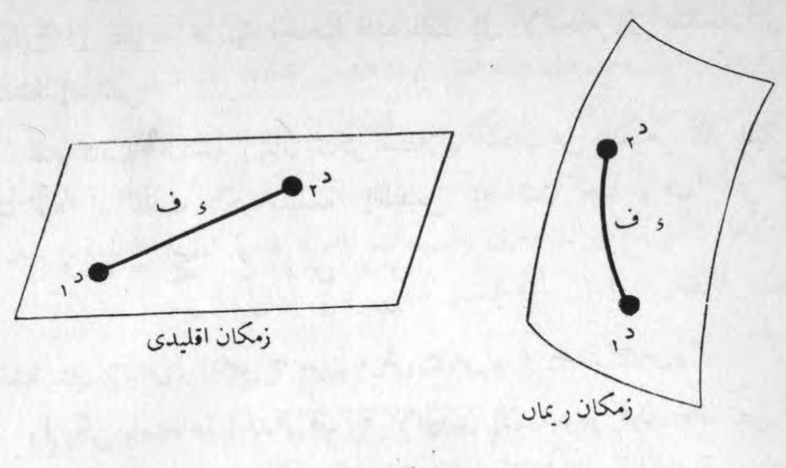
ينشأ فى نظرية النسبية العامة من استخدام أحداثيات منحنية فى فضاء منحن نتيجة لوجود المادة .

ختاماً أود أن أذكر بعض الملاحظات عن مدى صلاحية الميكانيكا الكلاسيكية والهندسة الإقليدية .

إننا نستطيع أن نحصر العالم على المستوى البشرى بين الحدين الذين يمثل أحدهما قطر الأرض ٦٣٧٠ كم أى ٦٫٣٧ × ١٠^٨ سم وأبعاد البكتريا (١ μ

(١) الوصلة : على أى سطح كان هى أقصر خط للذهاب من نقطة إلى أخرى .

أى ١٠$^{-٤}$سم ومن داخل هذين الحدين تتفق الهندسة الإقليدية والميكانيكا الكلاسيكية مع التجربة ويوفران لنا أدوات نافعة .



(شكل ٧)

ولكن الإنسان دفع التجربة إلى ما وراء هذه الحدود وذلك فى مجال الذرة وفى مجال النجوم ولدينا مقداران يميزان هذين المجالين الجديدين : قطر نواة الذرة ١٠$^{-١٣}$سم والمسافة التى تفصلنا عن أقرب النجوم لنا ٣ × ١٠^{١٨}سم .

ولقد ظهر أن الوسائل التى استخدمناها بنجاح فى مستوانا بادية العجز إذا استخدمناها فى مناطق مترامية البعد عنا . لقد كان يلزمنا ابتكار وسائل أخرى تعتبر الوسائل القديمة بالنسبة لها بمثابة تقريب جيد .

« لقد كانت الميكانيكا النسبية والهندسة الريمانية هى تلك الوسائل الجديدة التى مكنت الإنسان أن يمد معرفته وراء الحدود التى كان يبدو سجينا فيها » .

الفصل الثالث

نظرية الكمات

على الرغم من أن الميكانيكا النسبية تناولت فكرتى الزمن والمكان وفكرتى الكتلة والطاقة بالتغيير فإنها تركت فكرة الاتصال فى المقادير الفزيائية سليمة لم تمس وقد قدر لنظرية الكمات أن تتولى ذلك بالنسبة لهذه الفكرة الأخيرة .

لقد لجأ بلانك خلال كم الفعل « ه » إلى فكرة التغيرات اللامتصلة للمقادير الفزيائية عندما كان يسعى إلى إقامة فزياء للمستوى الذرى .

لقد تبلورت نظرية الكمات أثناء السعى إلى إيجاد تفسير لتجربة انبعاث الضوء من « الجسم الأسود » والجسم الأسود هو وعاء مسخن إلى درجة حرارة معينة ترسل وتمتص جدرانه الداخلية إشعاعا ولا يعتمد تكوين هذا الإشعاع عندئذ إلا على درجة حرارة الوعاء لا شكله ولا طبيعته .

وكان العلماء يودون أن يقدروا تكوين الإشعاع عند درجة حرارة معينة ولم يستطيعوا ذلك بدقة إلا استناداً إلى فروض جديدة .

لقد استطاع العلماء إثبات أن القوة الكلية التى تشعها وحدة السطح تتناسب مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة للوعاء . كان هذا هو قانون ستفان بولتزمان.

$$\text{ش} = \text{ب}\ \text{د}^{٤}$$

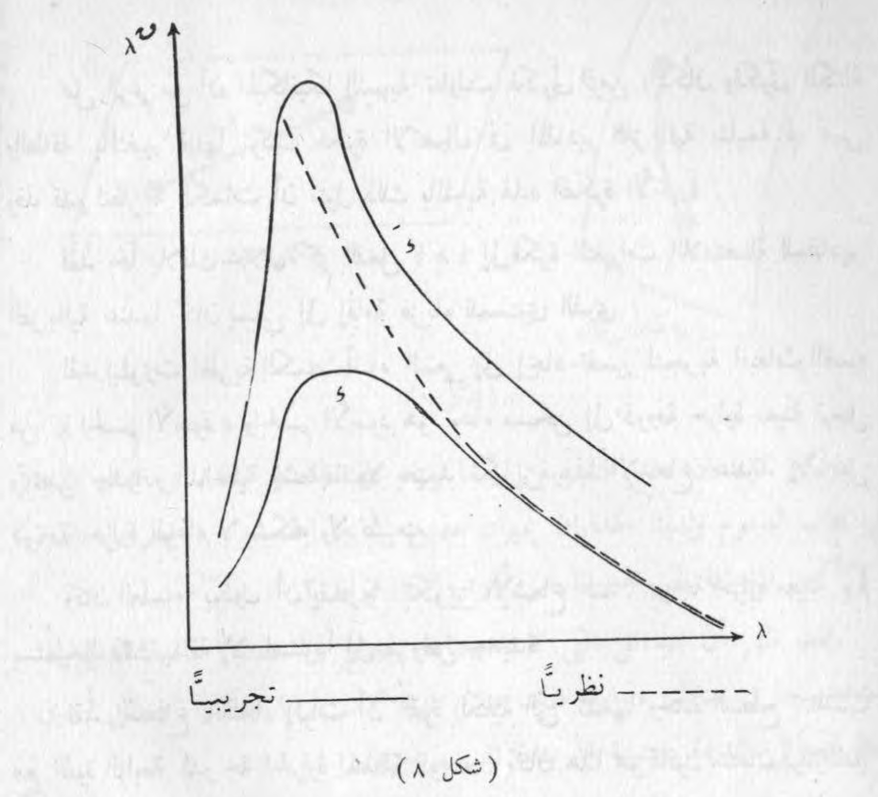
وهذه القوة الكلية المشعة هى مجموع الطاقات المشعة ق$_{\lambda}$ التى تناظر طول موجة λ ولكن هذا الطول يتغير بطريقة مستمرة بين صفر وما لانهاية ونعبر عن هذا بقولنا

$$\text{ش} = \int_{\text{صفر}}^{\infty} \text{ق}_{\lambda}\ \text{د}_{\lambda}$$

وهذا المجموع يجب أن يعطينا

$$\text{ش} = \text{ب}\ \text{د}^{٤}$$

إننا نستطيع أن نقيس عملياً الطاقة المشعة ق$_\lambda$ عند درجة الحرارة د$_\lambda$ لكل طول موجة$_\lambda$ ونحصل على المنحنى التجريبى (الرسم البيانى) (شكل ٨) الذى يعطينا ق$_\lambda$ بدلا له$_\lambda$



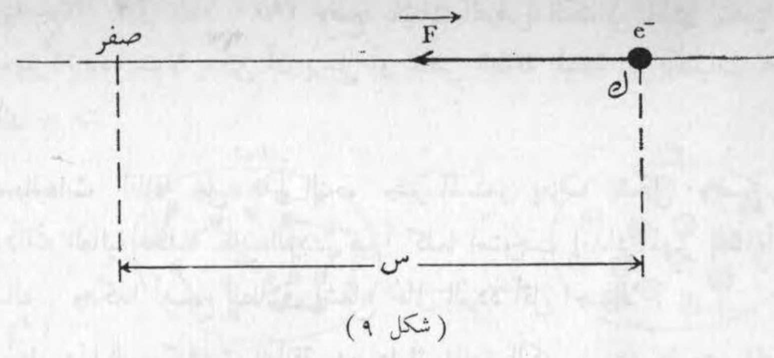
(شكل ٨)

إصدار الجسيم الأسود

والسطح الداخلى لكل منحنى يصور هذا المجموع $\int_{\text{صفر}}^{\infty}$ ق$_\lambda$ د$_\lambda$ أى القوة المنطلقة .

«لقد كان علينا من الناحية النظرية أن نضع موضع الاعتبار هذا المنحنى ق$_\lambda$ الذى على شكل ناقوس والذى يعطينا قدرة مشعة محددة » .

ولذلك وضعت نظرية ابتداء من الصورة التالية (شكل ٩)



(شكل ٩)

صورة مهتز بلانك

يتكون أبسط أشكال المهتز من جسيم مكهرب شحنته e وكتلته ك يجذبه مركز ثابت جذبا يتناسب مع المسافة . وتحدد حركة الشحنة عند ذلك المعادلة :

س = ا جا ع ز

يوجد فى جدران الوعاء مجموعات جسيمية مكهربة (إلكترون . ذرة . جزئ) تتذبذب بكل الترددات الممكنة حول موقع اتزان . إن حركة شحنة كهربائية يصحبها موجة كهرامغنطيسية وبالمثل يثير المجال الكهربائى لموجة كهرامغنطيسية التذبذب فى مجموعة مكهربة[١] .

لقد كانت هذه الصورة للمهتزات من إبداع بلانك وهى تسمح بحساب الشكل النظرى للدالة ق$_\lambda$ ولقد كان ذلك هو قانون رالى .

ومن هذا الشكل النظرى الموضح على الشكل ٨ يتضح أن المنحنى يتباعد منفرجا للقيم الضئيلة لـλ الأمر الذى يجعل المجموع $\int_{صفر}^{\infty}$ ق$_\lambda$ دλ لانهائيا .

وعلى ذلك يقودنا فرض المهتزات إذا تناولناه بطريقة كلاسيكية إلى نتيجة تختلف مع التجربة وهى نتيجة غير معقولة إذ بمقتضاها تكون القدرة المشعة الكلية لانهائية .

ويتغلب بلانك على هذه الصعوبة محتفظا بفرض المهتزات وقوانين حركتها ولكنه يقيد عدد هذه الحركات بأن يفرض عليها شروطا معينة تؤدى إلى توافقها مع التجربة ومن ثم تعين العدول عن الإشعاعات عالية التردد وكانت أطوال موجاتها

(١) تسمى هذه الظواهر ظواهر الرنين . (المترجم)

قصيرة جداً . وفى عام ١٩٠٠ وضع بلانك الفرض التكميلى الذى ينص على أن مهتزاً تردده ت لا يمكن أن يرسل أو يمتص الطاقة المشعة إلا بكميات محددة تساوى هـ ت

وانبعاث الطاقة على هذا النحو غير المستمر يعزف بشكل واضح عن الترددات العالية فكلما كان التردد كبيراً كلما استوجب إمداد المهتز بطاقةأكبر لإرساله . وهكذا أصبح انطلاق إشعاع عالى التردد أقل احتمالا .

على هذا النحو كشفت الطاقة بدورها إثر المادة والكهرباء عن طبيعتها المتجزئة (غير المتصلة) وهذه الذرات من الطاقة متعددة الأحجام ولكنها جميعاً تتحدد بالعلاقة : ق = هـ ت

حيث هـ ثابت بلانك وقيمته فى القياس سم جم . ث هى ٦٫٥٥ ١٠ – ٢٧

وابتداء من هذا الفرض أصبح لدينا شكلان ممكنان للنظرية الجديدة :

١ – إن تبادل الطاقة بين المادة والإشعاع يتم بالكمات (امتصاصاً وإشعاعاً) ويكون على ذلك بناء متجزئاً (غير متصل) (الشكل ١٠ – ١)

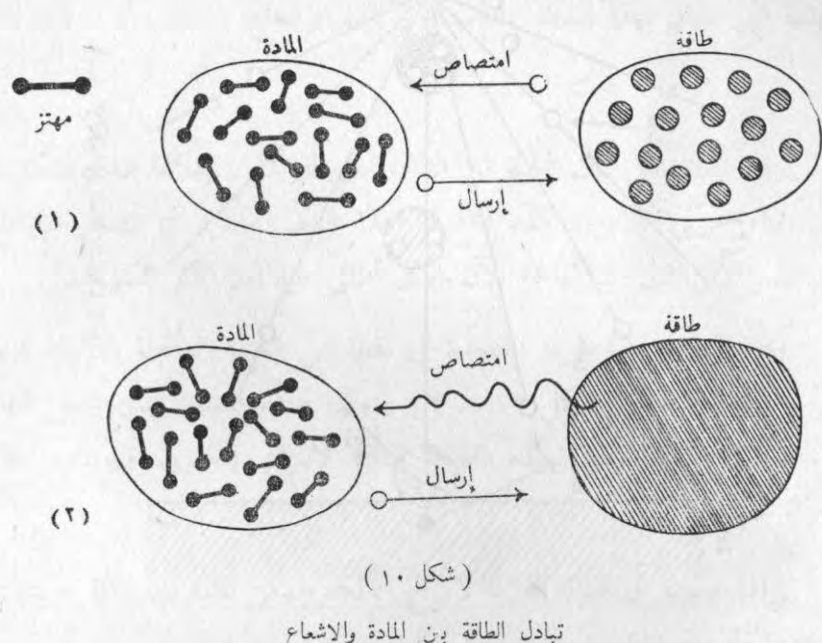
٢ – الامتصاص مستمر وهناك تراكم بصورة مستمرة للطاقة المشعة أما الإرسال على العكس فيتم بالكمات (شكل ١٠ – ٢)

ولما كانت هناك تجارب عديدة تساند النظرية الموجبة للضوء فقد كان هناك ما يحمل على الميل إلى الشكل الثانى للنظرية الجديدة الذى يستوجب الطبيعة المتصلة للإشعاع .

ولكن هرتز كان قد اكتشف عام ١٨٨٧ ظاهرة أقلقت الفزيائيين كثيراً ؛ لقد كانت النظرية الموجية للضوء تبدو فى ذلك الحين مستندة إلى أسس تجريبية صلبة ولم يخطر ببال أحد أن يشكك فى الطبيعة المتصلة للإشعاع ولكن تلك الظاهرة الجديدة استعصت على كل تفسير استناداً إلى النظرية الموجية .

والآن ماهى تلك الظاهرة . . ؟ إن المادة التى تتعرض لتأثير الإشعاع تطلق تلقائياً ألكترونات وإذا كان الإشعاع يتميز بشدته ش وتردده ت وتتميز الألكترونات

التى تنطلق من المادة بعددها ن وطاقتها ق = $\frac{1}{2}$ ك ع^{2} فإن هذا الأثر يعبر عنه عند ذلك بالقوانين التالية :



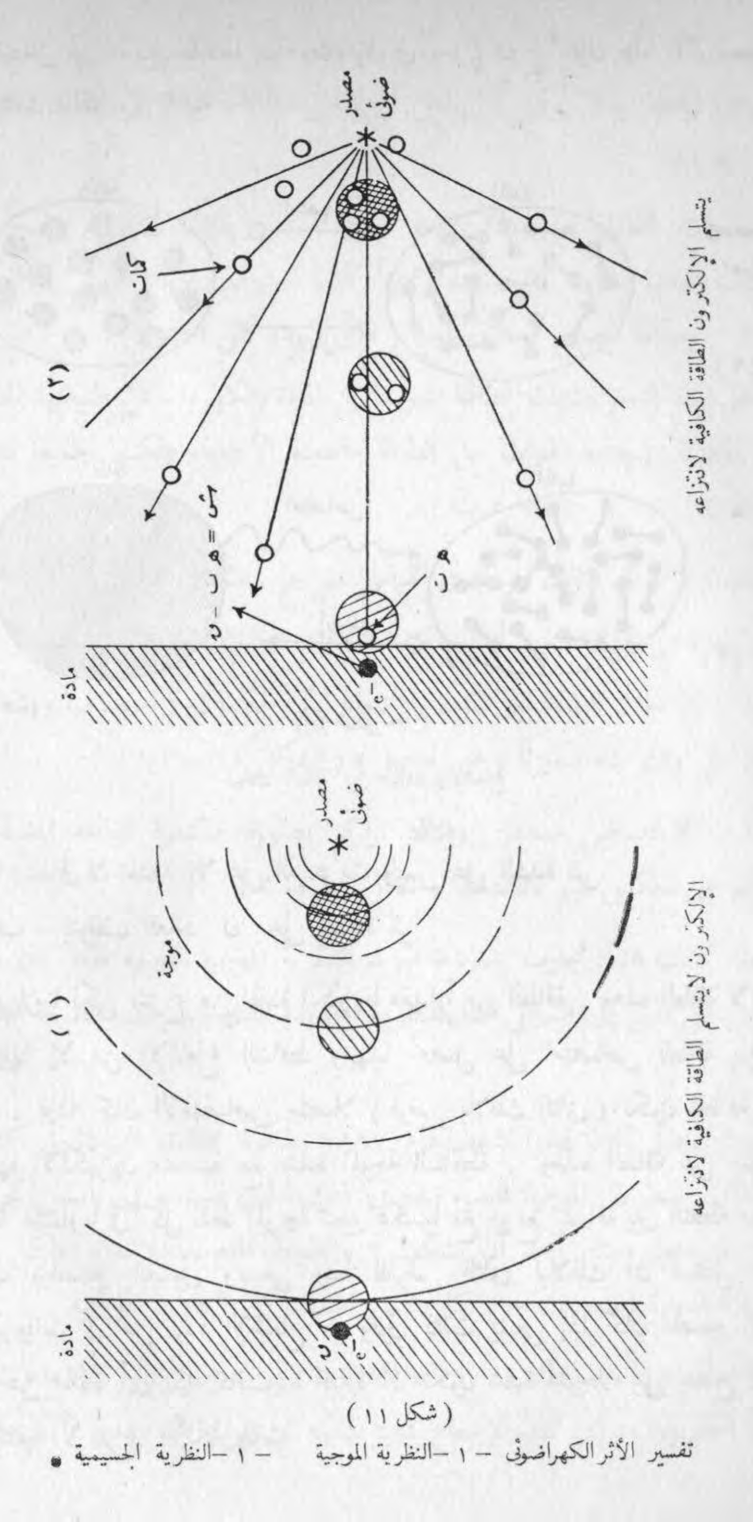
(شكل ١٠)

تبادل الطاقة بين المادة والإشعاع

ا — ق لا تعتمد إلا على التردد ت وليس على الشدة ش

ب — يتوقف العدد ن على الشدة ش

ويلزمنا لكى ننتزع من المادة الكترونا مقداراً من الطاقة . وهذه الطاقة لايمكن استعارتها إلا من الإشعاع الساقط وبهذا نحصل على امتصاص للطاقة بواسطة المادة . فإذا كان الامتصاص متصلا (فرض بلانك الثانى) تكون الطاقة التى يتسلمها الألكترون متناسبة مع شدة الموجة الساقطة . وهذه الطاقة التى تتوزع توزيعا متساوياً فى كل نقط الموجة تتغير عكسيا مع مربع المسافة بين النقطة موضع البحث والمصدر الضوئى وينبغى وفقاً للفرض الثانى لبلانك أن تستقل طاقة الألكترونات ق عن تردد الإشعاع — وفوق ذللث ينبغى إذا كان المصدر بعيداً جداً عن المادة أى إذا كانت م كبيرة أن تكون شدة الموجة على سطح المادة غير كافية لا نتزاع الألكترونات .



(شكل ١١)

تفسير الأثر الكهراضوئي - ١ -النظرية الموجية - ١ -النظرية الجسيمية

ولقد صاغ أينشتين عام ١٩٠٥ الفرض رقم ١ معلناً أن امتصاص الإشعاع بواسطة المادة يتم بطريقة متجزئة وأن لهذا الإشعاع نفسه بناء حبيبيًّا وأن الطاقة المشعة التى تنتقل بهذا الشكل تتناسب مع تردد الإشعاع .

ق = ه ت

ولقد أطلق على تلك الحبة من الطاقة اسم الفوتون . وهكذا عدنا بشكل ما إلى بناء حبيبى للضوء . ولقد أتاح لنا هذا النحو الجديد فى تصور الإشعاع أن نفسر الأثر الذى كنا نعالجه الآن والذى أطلق عليه اسم الأثر الكهراضوئى .

وتقع الطاقة فى النظرية الجديدة فى نقطة من الحزمة الساقطة ولا يعد قانون مربع المسافة منطبقاً (شكل ١١ — ٢) . وإذا صدم الفوتون الذى يحمل الطاقة ه ت المادة قد تكون هذه الطاقة كافية لانتزاع إلكترون وإمداده بطاقة حركة معينة .

وإذا سمينا ق الطاقة اللازمة لانتزاع الألكترون من المادة فإن طاقة حركته ش تحددها المعادلة : ش : = ه ت — ق
ونرى أنها لاتتوقف إلا على التردد ت للشعاع الساقط .

ولما كانت الشدة ش هى طاقة وحدة الحجم فإننا نستطيع أن نعبر عن الشدة فى فرض الفوتون بعدد الفوتونات الموجودة فى وحدة الحجم ويتناقص هذا العدد عندما يزيد بعد المصدر بحيث نعود فنجد بصورة إجمالية قانون عكس مربع المسافة .

ومن الطبيعى فى هذه الظروف أن يرتبط عدد الألكترونات المنزوعة بعدد الفوتونات فى وحدة الحجم أى بالشدة .

ويبدو فى كل ما أسلفناه عن الأثر الكهراضوئى أن الإشعاع مكوّن من حبات من الطاقة كمات الضوء أو الفوتونات وعند ذلك يراودنا أن نكوّن صورة لهذا الجسيم الجديد وهنا تعترضنا صعوبات جديدة « إذ يظهر فى تعريفنا لهذه الحبة ق = ه ت عنصر لا جسيمى هو التردد وعند ذلك تعود النظرية الموجية للضوء فتطغى

على النظرية الجسيمية وتجعل كل تصوير مستحيلا » ولقد كان مقدراً على الميكانيكا الموجية أن توحد وجهتى النظر الجسيمية والموجية .

وسوف يتعين علينا أن نعود إليها ولكن ينبغى علينا أن نتحدث قليلا أولا عن النماذج الذرية الجديدة تلك النماذج التى تشربت بالنسبية والكمات .

إننا سوف نعاين بأنفسنا صورة تتبلور .

الفصل الرابع

ذرة بوهر – سمرفيلد والفزياء الجديدة

لقد ذكرنا عندما كنا نستعرض نموذجى الذرة السابقين نموذج ج . ج ثومسون، ونموذج جان بران أن اهتمام الفزيائيين اتجه اعتماداً على هذين النموذجين صوب تفسير خواص كانت معروفة للذرات فى ذلك الحين؛ خصوصا إصدار الضوء وأشعة إكس –

وفى الوقت الذى تمت فيه التغيرات العميقة التى ذكرناهافى الفصول السابقة إذ أرغمت تجربة ميكلسن – مورلى الرائعة الفزيائيين على مراجعة فكرتى الزمن المطلق والمكان المطلق وإذ قادتنا الأبحاث التجريبية فى إشعاع الجسم الأسود تلك الأبحاث التى كانت نقطة الانطلاق إلى النظرية الفزيائية الكبرى : نظرية الكمات. كان المجربون فى المعامل يهذبون وسائل تكنيكية جديدة متزايدة الدقة للتسمع على الذرة التى كانت فى الواقع عندما تتعرض إلى مؤثرات حرارية وكهربائية أو إلى القذف بحزمة من الألكترونات ترسل إشعاعات كان من المهم تصنيفها وتحديدها .

لقد قام الفزيائيون الذريون فى مطلع القرن العشرين بما يشبه ما قام به الكيميائيون الذين اجتهدوا بعد دالتون فى تصنيف العناصر حسب أعدادها النسبية، إننا نعلم أن الجهد الذى بذله الكيميائيون رغم مشقته البالغة لم يذهب هباء لأنه أتاح الفرصة لنا أن نهتدى إلى دورية معينة فى تصنيف العناصر .

وبالمثل كان العمل الذى قام به الفزيائيون بالغ الأهمية حيث إنه أتاح لنا أن نستشف فى التعقيد البالغ الذى كانت عليه الأطياف انتظامات معينة وأن نصوغ قوانين تجريبية يستطيع بناءو النماذج الاستناد إليها .

وسريعاً ما ظهر أن علاقة بسيطة لا تتضمن إلا متغيراً واحداً (بارامتر واحد) تمكننا من الإحاطة بمجموع الترددات المشاهدة فى مختلف الخطوط الصادرة

تمكننا من الإحاطة بمجموع الترددات المشاهدة فى مختلف الخطوط الصادرة عن أبسط الأجسام ألا وهو الهيدروجين [١] وقد استطاع العلماء بتعدد التجارب الوصول حتى إلى حكم عام هو أن أى تردد لخط طيفى لذرة ما يساوى الفرق بين اثنين من تتابع تتميز به الذرة [٢] .

واقتضى الأمر عند ذلك البحث عن الحقيقة الفزيائية التى تختفى وراء هذا التتابع من الأعداد التى تميز الذرة .

ولكن هل أتاح لنا النموذج الكوكبى المتفق مع تجارب رذرفورد فرصة اكتشاف هذا التجزء فى الخواص البصرية . . . ؟ لقد كان الإلكترون الكوكبى فى ذلك النموذج يقطع حول الشحنة المركزية الموجبة مداراً كبلريا . وكان على ذلك يخضع لتعجلات . وتبعاً للنظرية الكلاسيكية الإلكترومغنطيسية كان يجب أن يشع طاقة وأن تتناقص طاقة حركته بهذا القدر الذى يشعه إلى أن يقترب الإلكترون من النواة ويسقط فيها وليس فى كل هذا حتى ولا فى استقرار المادة شيء يوحى بالتجزء .

لقد كان النموذج الكوكبى برغم ما كان يتمتع به من جاذبية أخاذه يتعارض مع كل من قوانين الكهرامغنطيسية وخواص الاتزان وفوق ذلك كان عاجزاً عن تفسير الإشعاع الطيفى للذرات .

لقد قلنا إنه ينبغى أن نبحث عن الحقيقة التى تختفى وراء ذلك التتابع من الأعداد المسماة « الحدود الطيفية » التى تتميز بها ذرة ما . . . ! وفى عام ١٩١٣ كانت نظرية الكمات قد أحرزت نجاحاً هاماً ولذلك كمّت بوهر الذرة اقتداء ببلانك الذى كمّت الإشعاع .

ولتحقيق ذلك تعين هنا أيضا اتخاذ فروض جريئة ووضع مسلمات لتفادى التناقضات لقد احتفظ بوهر بالنموذج الكوكبى للذرة ولم يحتفظ إمعاناً فى البساطة

---

(١) لقد أوضح بالمر عام ١٨٨٥ أن ترددات الخطوط الأساسية للأيدروجين تصورها المعادلة

$ث = س \left(\frac{1}{٤} - \frac{1}{ن^{٢}} \right)$ حيث ن عدد صحيح أعلى من ٢ .

(٢) $ث = ت_{١} - ت_{٢}$.

إلا بالمدارات الكبلرية الدائرية التى لا يتدخل معها إلا مقداراً متغيراً واحداً (بارامتر) ثم قرر ما يأتى :

١ – يوجد فى الذرة حركات مستقرة وهى الحركات المكمَّتة التى تناظر حالات ثابتة يميزها عدد صحيح ن وطاقة معلومة ق ن

٢ – على هذه المدارات الثابتة لا تشع الإلكترونات أى إشعاع .

٣ – على العكس من هذا تشع الإلكترونات عندما تنتقل من حالة ثابتة إلى حالة ثابتة أخرى نَ مرسله كما من الطاقة هـ ت = $\text{ق}_{\text{ن}} - \text{ق}_{\text{نَ}}$

لقد أسس ريمان عندما أنكر مسلمة إقليدس[1] هندسة جديدة على الصعيد الكونى وبوهر إذ يكمِّت النموذج الكوكبى للذرة الذى ابتكره جان بران وإذ ينكر قوانين الكهرا مغنطيسية[2] يؤسس فزياء جديدة على صعيد الذرة .

إن تكميت حركة دائرية لكتلة ك تتحرك بحركة سرعتها الزاوية ع على مسار نصف قطره نق تحددها العلاقة :

$$\text{ك}\,\text{نق}^{2}\,\text{ع} = \frac{\text{ن هـ}}{\text{٢ ط}} \quad \text{أو} \quad \text{ع} = \frac{\text{ن هـ}}{\text{٢ ط}}\;\frac{1}{\text{ك}\,\text{نق}^{2}} \qquad (1)$$

ويقابل كل قيمة لنصف القطر نق مجموعة من قيم تحددها ن = ١ ، ٢ ، ٣ ، . . . . . . الخ .

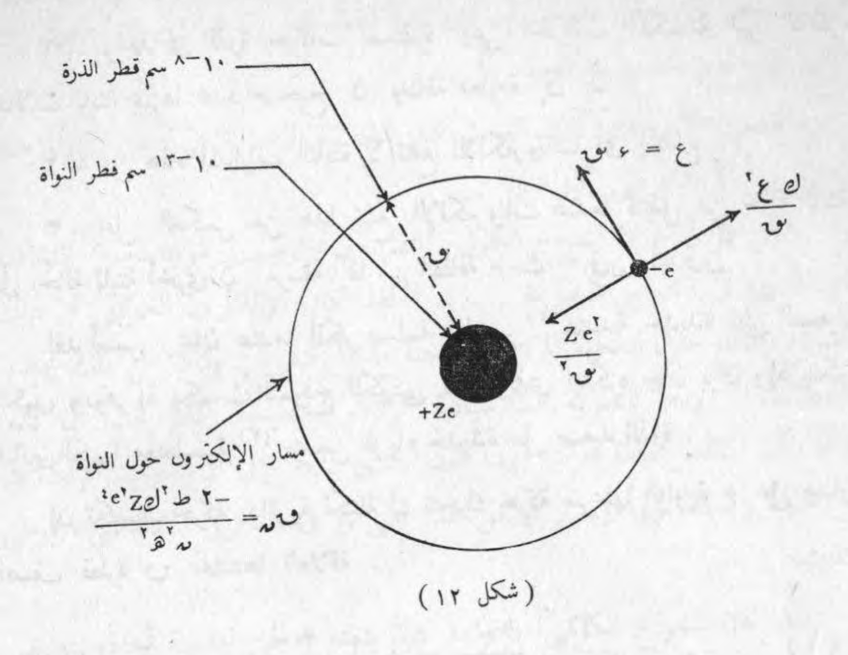
لقد كانت لا حتمية التردد هذه مدعاة للضيق ولكن بوهر احتفظ بالنسبة للذرة فيما عدى المسلمات التى أشرنا إليها من قبل بقوانين الميكانيكا الكلاسيكية فالإلكترون على مداره المفضل حيث لا يشع ولو أنه يخضع لتأثير عجلة قوية هذا الإلكترون الذى يتحرك بالسرعة $\vec{\text{ع}}$ يجد توازنه بين قوة الجذب الإلكتروستاتيكى $\frac{Ze^{2}}{\text{نق}^{2}}$ الناشئة عن الشحنة الموجبة Ze للنواة وقوة القصور

---

(١) يشير المؤلف بذلك إلى مسلمة التوازى (المترجم) .

(٢) يشير المؤلف بذلك إلى قانون الحث المغناطيسى للشحنات الكهربائية المتحركة . (المترجم)

$$\frac{ك\,ع^{2}}{نق} = \frac{Ze^{2}}{نق^{2}} \text{ ، } ع = \omega\, نق \text{ ومنها } \frac{Ze^{2}}{نق^{2}} = ك\,\omega^{2}\, نق \quad (٢)$$



(شكل ١٢)

وباستبعاد ω من العلاقتين (١) ، (٢) نحصل على :

$$نق = \frac{ن^{2}\,هـ^{2}}{٤\,ط^{2}\,ك\,Ze^{2}} = \frac{ن^{2}}{Z} \times ٠٫٥٢٨ \times ١٠^{-٨} \text{ سم}$$

وتكون طاقة حركة الإلكترون على ذلك $ق_e = \frac{1}{2}\, ك\, نق^{2}\, \omega^{2}$ وطاقته الكليه $ق = ق_e + و_e$ حيث $ق_و$ هى طاقة الوضع وتكون الطاقة المناظرة للمدار الذى تميزه ن هى :

$$ق_ن = \frac{-\,٢\,ط^{2}\,ك\,Z^{2}\,e^{4}}{ن^{2}\,هـ^{2}}$$

ونرى فى هذا التعبير أن الطاقة تتناسب مع $\frac{Z^{2}}{ن^{2}}$ تنقص عندما تزيد ن أى عندما نتجه إلى الطبقات الخارجية للذرة .

وفى هذا النموذج يميز عدد واحد (ن) الإلكترون فى الذرة

ن = ١ الطبقة K طاقة الربط ق$_K$

ن = ٢ الطبقة L طاقة الربط ق

ن = ٣ الطبقة M طاقة الربط ق$_M$

ولم يعالج أحد من العلماء بناء النواة فى ضوء نموذج بوهر ويحملنا الإشعاع ألفا فى المواد ذات النشاط الإشعاعى الطبيعى على الاعتقاد بأن نوى العناصر هى الهليوم أو الأيدروجين .

والصورة التى تكونت الآن للذرة بسيطة كما نرى أنها تمكننا من الإحاطة بعدد كبير من الحقائق التجريبية التى تتعلق بتكوين الأطياف الضوئية وأطياف أشعة إكس التى كان يدرسها فى ذلك الحين عدد وفير من الباحثين .

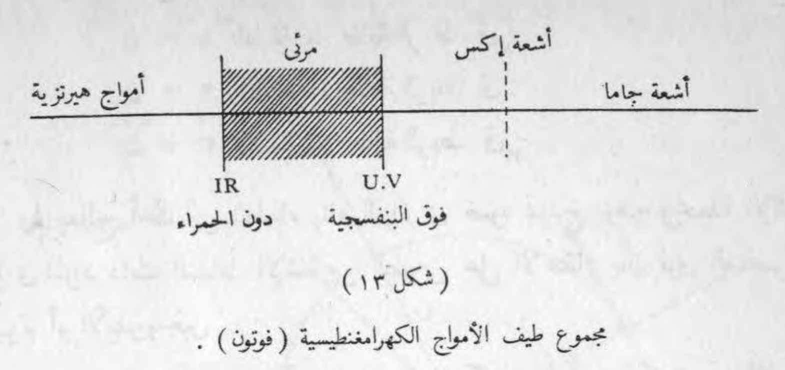
يتسلل فوتون طاقته ق = ه ت فى الذرة أثناء عملية امتصاص وهذه الطاقة يمكن استخدامها لإبعاد إلكترون عن النواة الموجبة التى كانت تحتجزة وقد يستطيع عند ذلك المرور من الطبقة L إلى الطبقة M ممتصاً الطاقة ق$_L$ – ق$_M$ فإذا كانت طاقة الفوتون كافية فإن إلكترونا (وليكن الإلكترون L مثلا) يمكن أن يقذف إلى خارج الذرة بطاقة الحركة ك = ه ن – ق$_L$ وهذا هو تفسير الأثر الكهراضوئى الذى تكلمنا عنه فى فصل سابق .

وفى أثناء عملية إشعاع تتولد عكس هذه الظاهرة إذ يخلو محل على مدار إلكترونى (الطبقة K مثلا) فيسقط الإلكترون L على الطبقة K مشعاً فوتوناً طاقته ه ت = ق$_K$ – ق$_L$ فإذا حدث الانتقال بين طبقات عميقة يكون تردد الفوتون المنبعث ه ت كبيراً وتسمى الأشعة الصادرة أشعة إكس .

أما إذا حدث الانتقال بين طبقات خارجية للذرة حيث طاقات الربط التى تناظر هذه الطبقات ضعيفة وبالمثل التردد المنبعث يدرج الإشعاع بين الإشعاعات الضوئية (طيف فوق البنفسجى والمرئى) .

وترى من هذه الأشكال التوضيحية القليلة لظواهر كانت كلاسيكية فى ذلك الحين كم كانت الصورة التى قدمها بوهر خلابة . إنها تقدم لنا التفسير المنشود

ولكنا فى غمرة ذلك ننسى أنها قائمة على إنكار الكهرامغنطيسية الكلاسيكية .



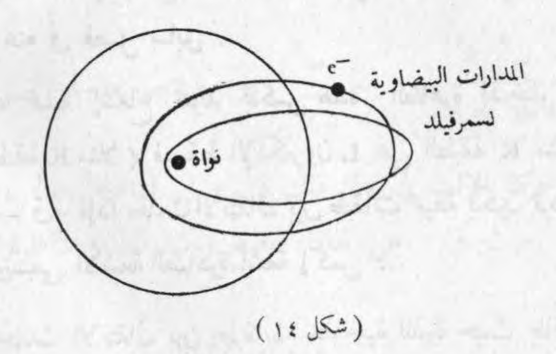
(شكل ١٣)

مجموع طيف الأمواج الكهرامغنطيسية (فوتون) .

ومع ذلك فقد كانت تلك الصور من الناحية النظرية ناقصة ما دمنا قد اقتصرنا على المدارات الدائرية وحدها وسرعان ما كشفت التجربة عن هذا النقص .

لقد أظهرت لنا التحسينات التى أدخلت على وسائل كشف وتسجيل خطوط الطيف التى كنا نعتبرها بسيطة أنها كانت فى الواقع ذات بناء مركب .

ولقد كان ينبغى على الباحثين النظريين لكى تشمل أبحاثهم هذا الأمر أن يحوروا الصورة وأن يكملوها بأن لا يهملوا فيما بعد المدارات البيضاوية وحركات النواة أم بالنسبة إلى مركز ثقل الذرة .



(شكل ١٤)

$$\text{ق}_{\text{ن ل}} \quad \text{ق}_{\text{ن}} - \left\{ ١ + \frac{\text{ا}^{٢}\,\text{ر}^{٢}}{\text{ن}^{٢}} \left(\frac{\text{ن}}{+١} - \frac{٣}{٤} \right) \right\}$$

حيث ق هى طاقة بوهر ، ا ثابت يسمى ثابت البناء الدقيق (ق ل يعتمد هنا على حدين ن ،ل)

وفى عام ١٩١٦ قام سمر فيلد بهذه المهمة فكمت المدارات البيضاوية واستخدم الميكانيكا النسبية لمعالجة حركة الإلكترون فى مداراته . ويتدخل هذه المرة فى التعبير الذى يحدد طاقة الإلكترون عددان كماتيان ن ، ل وهذا الأخير يمكن أن يكون له أى قيمة بين صفر ، ن ــ ا

وبينما كانت نظرية بوهر عن الحدود الطيفية لأشعة إكس تقرر مستوى واحداً K ومستوى واحداً L ومستوى واحداً M يقرر سمر فيلد بوجود هذين العددين الكماتيين ن ، ل فى التعبير عن الطاقة مستوى واحداً K ومستويين L وثلاثة مستويات M

بوهــر		سمر فيلــد		
ن = ١	$ق_K$	ن = ١	l = صفر	$ق_K$
ن = ٢	$ق_L$	ن = ٢	l = صفر	$ق_{L0}$
			l = ما	$ق_{L1}$
ن = ٣	$ق_M$	ن = ٣	l = صفر	$ق_{M0}$
			l = ١	$ق_{M1}$
			l = ٢	$ق_{M2}$

واقتربت النظرية من التجربة ولكن التجربة لم تتوقف عن المضى قدماً ولم يمض زمن طويل حتى تبينا أن المستوى L كان له بناء دقيقاً من ٣ خطوط بدلا من اثنين والمستوى M خمسة بدلا من ثلاثة .

ونتيجة لذلك وجب توسيع النظرية مرة أخرى وكانت تبدو كاملة فى ذلك الحين فأدخل سمر فيلد عددا كماتيًّا إضافيًّا l وهو عدد كماتى داخلى ظل مغزاه غامضا) .

ولم تكن هذه المحاولة وهذا التعقيد فى النظرية والصورة مما يبعث على الارتياح أو الرضا ثم جاء تأثير المجال المغناطيسى على خطوط الطيف الصادرة عن الذرات فحمل إلى هذه الصورة المترنحة المحتضرة للذرة رحمة السماء .

إن ازدواج خطوط الطيف بتأثير المجال المغناطيسى وكان أمراً متوقعاً منذ ١٨٩٦ قد شاهده فعلا زيمان .

ولكى نجعل هذا الأثر أكثر وضوحا للقارئ يجدر بنا أن نستطرد قليلا لكى نذكر تعريف العزم الحركى ويسمى أيضا العزم الزاوى المدارى والعزم المغناطيسى إذ يتدخلان فى الأثر المذكور .

العزم الحركى > :هوعزم كمية الحركة $\overrightarrow{\text{ك}}$ = ك $\overrightarrow{\text{ع}}$ للألكترون بالنسبة إلى النواة وهو كمية متجهة موجهة عموديا على المستوى الذى يحدده المتجه كمية الحركة $\overrightarrow{\text{ك}}$ ونواة الذرة باعتبارها نقطة الأصل .

(شكل ١٥)

العزم الحركى وإسقاطه على محور التكميت ZO

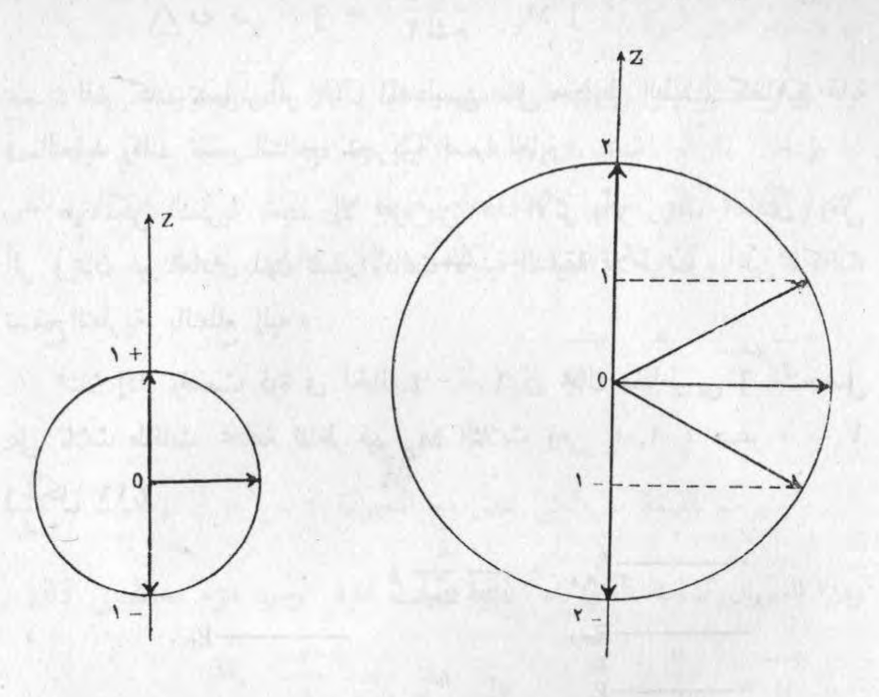
والعزم الحركى $\overrightarrow{M}$ فى الميكانيكا الموجية مكمت أى أننا نجعل متجها $\overrightarrow{l}$ سيكون له فى الفضاء ٢ l −١ اتجاهات غير مستمرة يناظر $\overrightarrow{M}$.

ويرتبط M ، l بالعلاقة $\overrightarrow{M}$ = $\frac{\text{هـ}}{\text{٢ط}}$ $\overrightarrow{l}$ والعدد الكماتى $\overrightarrow{l}$ يتناسب مع العزم المدارى $\overrightarrow{M}$.

وتتحدد اتجاهات l بالنسبة إلى محور ثابت ليس له أى مغزى فزيائى خاص ويسمى محور التكميت Zo وتمثل M إسقاط العزم $\overrightarrow{M}$ على هذا المحور ، M مثل $\overrightarrow{M}$ مكمته .

وهكذا نناظر حالة الإلكترون l = ١ ثلاثة اتجاهات ممكنة للعزم الحركى $\overrightarrow{M}$ وخمسة اتجاهات بالنسبة إلى l = ٢ولكن هذه الحالات مع ذلك تتميز بنفس الطاقة ط ن ل التى لا تعتمد إلا على الأعداد الكماتية ن، l وهذه النقطة هامة إذ كما سترى فوراً إذا وضعت الذرة فى مجال مغنطيسى سوف يكون للحالات الثلاثة (l = ١)

والحالات الخمس (ا = ٢) طاقات مختلفة . الأمر الذى يؤدى إلى انفصال المستويات (ظاهرة زيمان) .



(شكل ١٦) تكميت عزم الحركة $\vec{M}$

العزم المغنطيسى : إن دوران الإلكترونات بفعل الجاذبية حول النواة يعادل تيارات كهربائية تحول الذرة إلى مغنطيس صغير يمكن تمييزه بعزمه المغنطيسى $\vec{م}$ والإلكترون الذى يقطع بالسرعة $\vec{ع}$ مداراً دائرياً نصف قطره نق يكون عزمه المغنطيسى المناظر هو $\vec{م} = \frac{e}{٢ جـ}$ نق ع

ولما كان العزم الحركى المدارى لميل هذا الإلكترون هو : —

$\vec{M}$ = ك ا $\vec{ع}$ نرى أن العزم المغنطيسى $\vec{م}$ مرتبط بالعزم المدارى $\vec{M}$

$$\vec{م} = \frac{e}{٢ك جـ} \vec{M} \quad ، \quad م_z = \frac{e}{٢ك جـ} M_z$$

وفى مجال مغناطيسى خارجى] سيحصل الإلكترون على طاقة إضافية

$$\triangle \text{ط م}_z =] = \frac{e}{\text{٢ ك جـ}} \; M_z \;]$$

« لقد كان تصوير أثر المجال المغنطيسى على خطوط الطيف كظاهرة غاية فى التعقيد وكان تفسير النتائج التجريبية صعبا للغاية .

فلم تكن النظرية تحيط إلا بجزء من هذا الأثر (أثر زيمان العادى) وظل أثر زيمان غير العادى بدون تفسير وكانت الأبنية الدقيقة للأطياف « أغنى مما كانت تسمح النظرية بالتطلع إليه » .

فمثلا إذا وضعت ذرة فى الحالة l = ١ فى مجال مغناطيسى $\overleftarrow{]}$ سنحصل على ثلاث طاقات مختلفة تناظر قيم M_z الثلاث وهى + ١ ، صفر ، — ١ (شكل ١٦) .

$$E_{n,1} + \frac{e}{2mc}\,\frac{h}{2\pi}\,h$$

$$E_{n,1} \qquad\qquad E_{n,1}$$

$$E_{n,1} - \frac{e}{2mc}\,\frac{h}{2\pi}\,h$$

$$h \neq 0 \qquad\qquad h = 0$$

Fig. 17

(شكل ١٧)

وفى مجال مغناطيسى ينقسم مستوى الطاقة الذى يناظر l = ١ إلى ثلاث مستويات وسوف يناظر l = ٢ خمس مستويات طاقة . إن هذا هو أثر زيمان العادى (شكل ١٧) .

وفى هذه النظرية التى يزحمها العدد الكماتى] تقوم ثلاث متغيرات (بارامترات) بتحديد الإلكترون فى الذرة وهى ن ، l ،] ومع ذلك ظهر أنها لاتكفى . وللخروج من هذا المأزق عاد العلماء عام ١٩٢٥ إلى صورة الإلكترون الذى ظل حتى تلك اللحظة يتميز بكتلته ك وشحنته e^- فتصوروه عند ذلك كرة تتوزع عليها الشحنة — e بانتظام وأتاحت لنا معادلة أينشتين

ق = ك ج ٢ التى تعبر عن قصور الطاقة الوصول حتى إلى تحديد نصف قطر (نق) هذه الكرة من الكهرباء السالبة الذى وجد ٨و٢ — ١٠ ^-١٣^ سم وهو مقدار فى حدود حجم النواة .

ولكى نفسر أثر زيمان غير العادى وجب إكمال هذه الصورة بطريقة تسمح لنا بإدخال بارامتر إضافى فى وصف الإلكترون فقد تصورناه يدور حول نفسه كلعبة الأطفال التى تسمى « نحلة » وأصبح له على ذلك عزم دوران زاوى سمى « لف » وقد كُمِّت اللف كما كُمِّت العزم الزاوى المدارى

$$\vec{M}_{\text{دوران}} = \frac{\text{هـ}}{\text{٢ ط}} \vec{\text{س}}$$

واختيرت القيمة س لكى تتفق مع التجربة : س = ½ بوحدات $\frac{\text{هـ}}{\text{٢ ط}}$

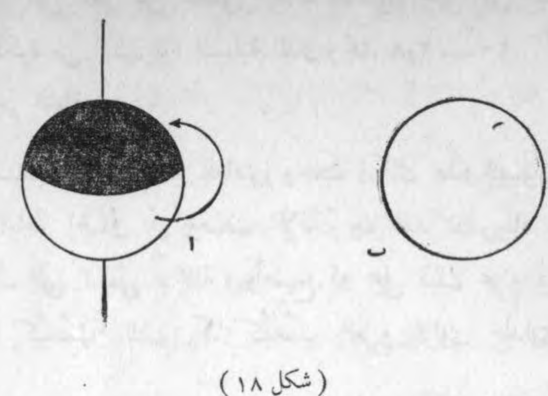
وهذا الدوران لشحنة الكهرباء الأولية يترتب عليه وجود عزم مغنطيسى ذاتى :

$$\vec{\mu} = \frac{e}{\text{٢ ك ج}} \vec{M}_{\text{دوران}} \quad ، \quad \mu_z = \frac{e}{\text{٢ ك ج}} M_{z\,\text{دوران}}$$

وأصبح الإلكترون شبيها بمغنطيس صغير كروى الشكل يدور حول قطر يحدده خط القطبين (شكل ١٨) وتساوى فى الكهرامغنطيسية الكلاسيكية النسبة بين العزم المغنطيسى وعزم الحركة $\frac{e}{\text{٢ ك ج}}$ ولكى نفسر أثر زيمان غير العادى اضطررنا إلى أن نعطى العزم المغنطيسى للإلكترون قيمة مزدوجة $\mu = \frac{e}{\text{٢ ك ج}} \frac{\text{هـ}}{\text{٢ ط}}$

ولقد أيدت التجربة ثم نظرية ديراك بعد ذلك هذه القيمة .

لقد أزاح إدخال اللف كثيراً من الصعوبات وأضاء بنور جديد إضافة سومر فيلد للعدد الكماتى الداخلى [فهذه القيمة يمكن تفسيرها باعتبارها محصلة العزمان الحركيان l ، س أما [فتمثل العزم الزاوى الكلى . والآن يفسر إدخال اللف أثر زيمان غير العادى .



(شكل ١٨)

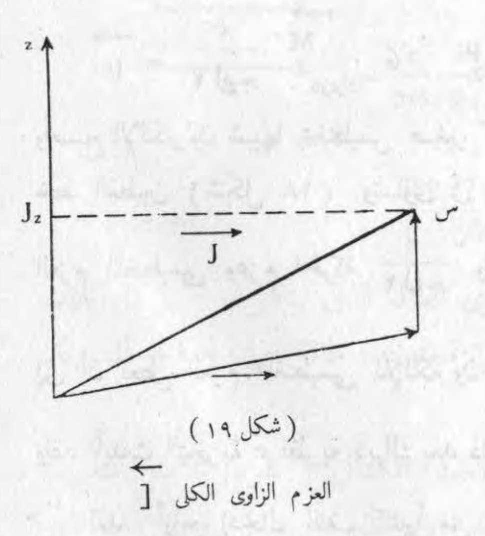
(١) صورة الإلكترون مع اللف ، (ب) بدون لف

هل كان لدى العلماء عندئذ صورة صحيحة للذرة . . . ؟

إننا لكى نكوِّن صورة للموكب الإلكترونى تتقيد بالتجربة يتحتم علينا اتباع عدد معين من القواعد .

فإذا كنا نتأمل مثلا مجموعة من إلكترونين (١) ، (٢) نجد أن كلا منهما يمكن أن يأخذ مكانه تبعاً لأربعة تشكيلات . اثنان يتوازى فيهما اللف واثنان لايتوازى فيهما اللف .

ولما كان لكل إلكترون عزما مغنطيسيا μ فإن العزوم المغنطيسية يضاف تأثيرها إذا كان اللف متوازيا (ا) وعندمايكون اللف متضاداً (ب) يكون العزم المغنطيسى الناتج صفرا .

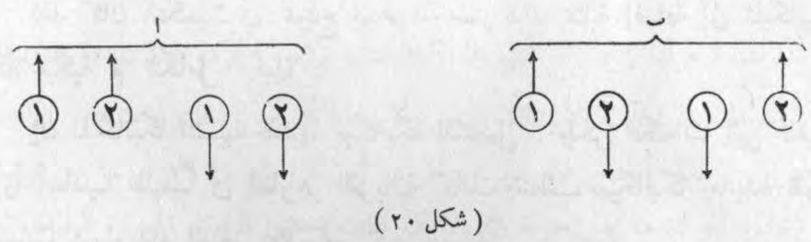


(شكل ١٩)

العزم الزاوى الكلى $\overleftarrow{J}$

ومثل هذه المجموعات موجودة إنها ذرة الهليوم ولها إلكترونين على الطبقة K (ن = ١) وغياب الخواص المغنطيسية الناتجة الذى أشرنا إليه عاليه يشير إلى أن لف الإلكترونين متضاد ويبدو أنه ممنوع فى تشكيل مستقر أن يكون لإلكترون

الطبقة K لفان متماثلان ويمكن التعميم فنقول إن الإلكترون تميزه أربعة أعداد كماتية (ن ، l ، [، $[_z$ وهى إسقاط [على محور التكميت (شكل ١٩) .
ويفرض مبدأ بولى أنه « يستحيل أن يكون لألكترونين من الموكب نفس قيم الأعداد الكماتية الأربعة » .



(شكل ٢٠)
التشكيلات المختلفة لمجموعة من إلكترونين

ومبدأ الاستبعاد هذا يجب عدداً معينا من الارتباطات الممكنة مبدئيًّا . إنه يَقْصُر مثلا على ٢ عدد الإلكترونات التى تدور على الطبقة K أما بالنسبة إلى الطبقة L (ن = ٢) نحصل عند المستوى L = صفر على إلكترونين وعند المستوى L = ١ على ستة إلكترونات على الأكثر .

وهكذا اختزلت السحابة الإلكترونية التى كانت تغلف النواة إلى تركيب هندسى يستلزم فقط أربعة ثوابت وقواعد ارتباط معينة. لقد كانت الصورة معبرة واضحة ولكن الباحثون اكتشفوا دروبا جديدة وكانت الفزياء على وشك أن ترقى فى مدارج التجريد ومن ثم كان علينا أن نتخلى عن تلك الصورة صورة الذرة وصورة الإلكترون كذلك فبعد أنشتين وبعد بلانك : بعد النسبية وبعد الكمات أعاد لويس دى بروى وهينربرج بواسطة الميكانيكا الموجية وميكانيكا المصفوفات التفكير فى مشكلة بناء المادة وقد عرفت الميكانيكا الجديدة (الميكانيكا الكماتية) شكلا لا نسبيًّا مع شرود نجر ثم أدخل ديراك النسبية فيها . لقد كان ذلك هو بحث ٦ ديسمبر سنة ١٩٢٩ الذى إذ أذّن بمولد أضداد الجسيمات أتاح لنا أن نرى طيف ما يمكن أن يكون عليه ضد المادة .

الفصل الخامس

الميكانيكا الموجية واللاحتمية

لقد كان التكميت فى نموذج بوهر – سمر فيلد بمثابة إضافة إلى الميكانيكا الكلاسيكية لم تتكامل فيها .

إن الميكانيكا النسبية نفسها ميكانيكا للمتصل . ولكن الكمات التى تلعب دوراً أساسيًّا طليعيًّا فى الظواهر الفزيائية كانت تتطلب ميكانيكا جديدة تقوم الكمات فيها مقام العنصر الأساسى .

« والفكرة التى تقوم عليها الميكانيكا الموجية هى الفكرة التالية : لقد جزأ التكميت مستخدما العلاقة الأساسية ق = هـ ت الإشعاع الذى كان من قبل لا يتميز إلا بالتردد ت وحده . ألا يضفى هذا التكميت إذاً – إذ يتسلل إلى الذرة لكى يحدد فيها حالات ثابتة للإلكترون – على الحبات النهائية للمادة طابعا موجيًّا . . .

وتبعاً لهذا الفرض الذى وضعه ل . دى بروى عام ١٩٢٥ ينبغى أن تظهر على الإلكترون خواص موجية . وهكذا أصبحت الأعداد الكماتية التى تميز المدارات الثابتة فى نموذج بوهر سمر فيلد ملحقة بوجود الأمواج الثابتة .

« فى كل مرة يكون لعنصر مادى بالمعنى الأعم فى مجموعة أسناد طاقة ق لا بد أن يوجد فى هذه المجموعة ظاهرة دورية لها التردد ت الذى تحدده علاقة الكم ق = هـ ت (ل . دى بروى) وتحدد ميكانيكا نيوتن كمية الحركة لأى جسم مادى بالعلاقة $\vec{ك} = ك \vec{ع}$

ثم أصبح هذا التعبير فى الميكانيكا النسبية لاينشتين :

$$\vec{ك} = \frac{ك \vec{ع}}{\sqrt{1 - \frac{ع^2}{ج^2}}}$$

والآن يجب فى الميكانيكا الموجية أن نجعل كمية الحركة تناظر طول موجة λ وأصبح على ثابت بلانك الذى أدخل على نظرية الإشعاع الطابع الجسيمى أن يُدخل الطابع الموجى فى نظرية الجسيمات المادية . ق = هـ ت ويحسن أن نضيف

$$ك = \frac{هـ}{\lambda}$$

« لقد لزم أن نربط مع الكترون كان يتميز بكمية الحركة ك موجة طولها λ »

وسرعان ما توالت التأييدات التجريبية لهذا الفرض الجرىء مشجعة الباحثين النظريين . لقد أوضح دافيسون وجرمر فى أمريكا عام ١٩٢٦ ثم — ج. ثومسون فى إنجلترا أنه عندما تعبر حزمة من الإلكترونات إحدى الرقائق المعدنية الرفيعة جدا تتولد ظواهر حيود تشبه تلك التى نحصل عليها بأشعة X « إن الإلكترونات التى تعبر المعدن تنحرف لا كما تنحرف الجسيمات ولكن كما تنحرف موجات ترددها أكبر حوالى مليون مرة من تردد الضوء المرئى .

هل كان لزاما بعد هذه التجارب أن نتأمل من جديد التصور الذى يمكن تكوينه عن الألكترونات .

« لقد كان طبيعيًّا أن نفترض — مادمنا لا نعلم على وجه التحديد — أبسط الفروض وأن نعتبر الإلكترون مثل شحنة بسيطة على شكل نقطة يحيط بها وسط ليس له بناء . إن الدراسة الرياضية تصبح أبسط مع هذا الفرض عنها مع كل الفروض الأخرى . ومع ذلك فليس هذا سببا مقنعا لأنه واضح أن ما يناسب الرياضيين ليس لهذا السبب حكما ملزما على المستوى الكونى وليس إذاً مستبعداً أن تصبح هذه الفكرة عن الإلكترون فى ضوء معارف جديدة مما لا يمكن التمسك به تماماً مثل فكرة الذرة التى تناظرها » .

ولقد أضاف ج. ج. ثومسون الذى أبدى هذه الملاحظات على صورة الإلكترون مايلى :

« إن السبب الذى يدعونا إلى نبذ الفكرة القديمة عن الإلكترون هو تلك النتيجة التى حصلنا عليها حديثا والتى مؤداها أن الإلكترون الذى يتحرك يصحبه دائماً

مجموعة من الأمواج وهذه الأمواج تكاد تحمله فى حركتها وتحدد الاتجاه الذى ينبغى أن يتبعه .

إنه بهذا الشكل يصور شيئا أكثر تعقيداً بكثير من مجرد شحنة على شكل نقطة فى حركة منتظمة » .

ولقد تساءل بعض الفزيائيين طويلا حول طبيعة تلك الموجة المرتبطة مع الإلكترون . لقد جاهد لويس دى بروى من عام ١٩٢٣ حتى عام ١٩٢٧ « فى سبيل الحصول على تفسير يتفق مع فكرة السببية مستخدما وفق تقليد الفزيائيين تصوراً للحقيقة الفزيائية يستعين بصور دقيقة فى إطار المكان والزمان » .

وفى نفس الوقت ابتكر فزيائيون آخرون أحدهم هيزنبرج استناداً إلى صورة معينة وسيلة رياضية بارعة وبحثوا فى تفسير احتمالى لهذه الموجة الملحقة . ومن هنا جاء اسم « موجة الاحتمال » . الذى يطلق عليها أحينا .

لقد أصبح هذا التفسير الثانى هو النظرية الرسمية .

وفى عام ١٩٢٦ قدم شرودنجر مبتدئا من معادلات ميكانيكا نيوتن معادلات الموجات المرتبطة بإلكترون واضعاً بهذا الشكل أسس ميكانيكا موجية كانت بالنسبة إلى الميكانيكا الكلاسيكية مثلما كانت البصريات الفزيائية بالنسبة إلى البصريات الهندسية .

لقدقلبت تماماً الميكانيكا الموجية ربما أكثر مما فعلت نظرية النسبية طريقة تفكيرنا لقد اضطرتنا النسبية والكمات إلى مراجعة أفكار الزمن والمكان واتصال الطاقة «أما الميكانيكا الموجية فقد وضعت حتمية الميكانيكا النيوتونية موضع التساؤل » .

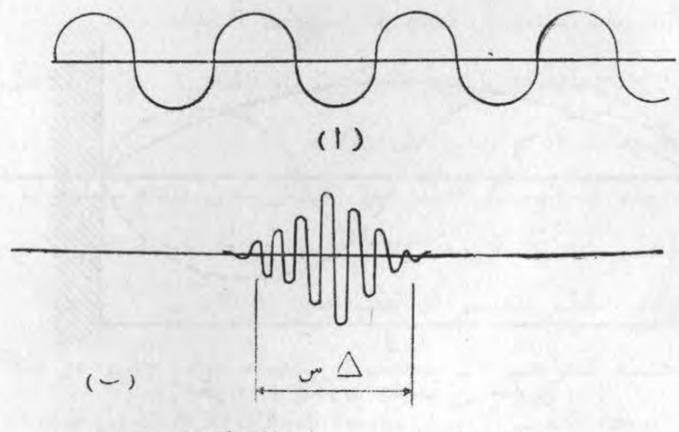
ويوصف كل جسيم فى هذه الميكانيكا الجديدة بتعبير رياضى يسمى دالةالموجة للجسيم ويرمز إليه بالحرف Ψ وهذه الدالة يمكن أن تتحلل إلى مجموع من الدوال لأمواج واحدة اللون ترددها ت$_{1}$ ، ت$_{2}$ ، ت$_{3}$ – إلخ وسعتها ا$_{1}$ ، ا$_{2}$ ، ا$_{3}$

$$\Psi = \text{ا}_{1}\Psi_{1} + \text{ا}_{2}\Psi_{2} + \text{ا}_{3}\Psi_{3} + \cdots\cdots$$

وفى البصريات يعطينا مربع سعة الموجة شدتها أما فى الميكانيكا الموجية فيعطينا مربع سعة مركبة ما (ا$_{2}$) مثلا احتمال أن يكون لجسيم تصفه الدالة Ψ_{2} الطاقة

$ق_٢$ = ﻫ $ت_٢$ وللموجة واحدة اللون تردد ت وطول موجة λ محددين جيداً وهذا يحتم قيمة محددة جيداً لطاقة الإلكترون والخطأ فى هذا المقدار صفر وسوف نكتب إذاً $\triangle$ ق = صفر ولكن هذا الإلكترون على عكس هذا لا يمكن تحديد موقعه وحيث إنه لا يوجد حد للموجة فهناك خطأ كبير جداً حول موقعها $\triangle$ س = ∞ (شكل ٢١ ا) .

وإذا أخذنا بدلا من موجة واحدة اللون سلسة من الأمواج أطوالها تتراوح بين $\lambda + \triangle \lambda$ ، $\lambda - \triangle \lambda$ يكون تحديد موقع الجسيم أفضل ويمكن أن تكون هنا $\triangle$ س صغيرة جدا ولكن فى هذه المرة يتدخل خطأ حول الطاقة مادام التردد ليس محدداً إنما $\triangle$ ق $\neq$ صفر (شكل ٢١ ب) .



(شكل ٢١) وصف جسيم فى الميكانيكا الموجبة

ا – الطاقة محدودة تماماً ($\triangle$ق = صفر) أما الموقع فلا ($\triangle$س = ∞)

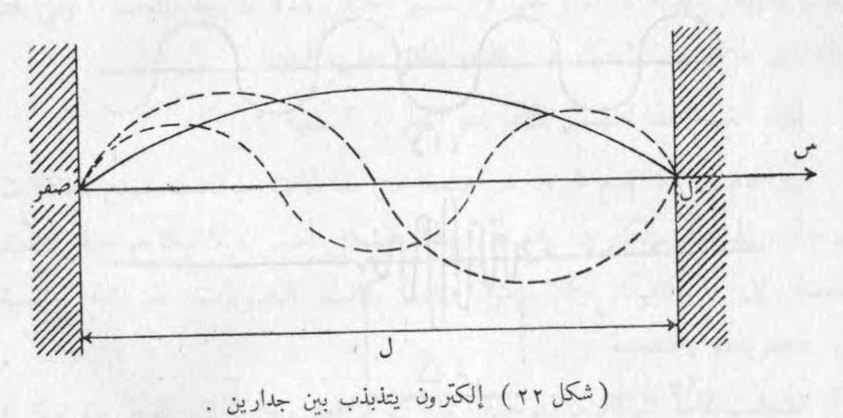
ب – ليست الطاقة محدودة تماماً ($\triangle$ق $\neq$ صفر) والموقع غير دقيق ($\triangle$س $\neq$ صفر)

وتكتب علاقة اللاتحديد بين الإحداثى س للجسيم وسرعته

ع $\triangle$ س $\triangle$ ع = $\frac{ﻫ}{٢ ط ك}$ حيث ك هى كتلة الجسم . ونرى أنه إذا كانت ك كبيرة جداً (وهذا هو ما يحدث عندما نغادر دنيا الذرة إلى المستوى البشرى) تكون النسبة $\frac{ﻫ}{ك}$ $\backsim$ صفر وتختفى اللاتحديدات .

إن هذه الغلالة التى هى بمثابة الظلال أو الاهتزاز فى صوره القيم التى تحدد موقع وسرعة الجسيم هى العلامة التى تشير إلى الانتقال من الميكانيكا الكلاسيكية إلى الميكانيكا الموجية .

دعنا الآن نتأمل إلكترونا ينتقل تبعاً للمحور م س بين جدارين عاكسين (شكل ٢٢) إننا نحصل من وجهة النظر الموجية على مجموعة من الأمواج الثابتة Ψ = ا جا $\frac{٢ \, ط \, س}{\lambda}$ وعندما تكون Ψ = صفر على الجدران أى عندما تكون س = صفر ، س = ل يجب أن نحصل حتى نكون على اتفاق مع شروط الحدود على $\frac{٢ \, ط}{\lambda}$ ل = ن ط حيث ن عدداً كاملا .



(شكل ٢٢) إلكترون يتذبذب بين جدارين .

وتكون أطوال الموجة الممكنة عندئذ $\lambda_{١}$ = ٢ ل (ن=١) ، $\lambda_{٢}$ = $\frac{٢ \, ل}{٢}$ (ن = ٢) ، $\lambda_{٣}$ = $\frac{٢ \, ل}{٣}$ (ن = ٣)... $\lambda_{ن}$ = $\frac{ل}{ن}$

ونستطيع أن نجعل كل قيمة للمقدار (تناظر طاقة ابتداء من العلاقات ق = $\frac{١}{٢}$ ك ع^{٢} ، ك = $\frac{هـ}{\lambda}$ أو ك = ك ع

فنحصل على ق = $\frac{١}{٢}$ ك $\left(\frac{هـ}{\lambda \, ك} \right)^{٢}$ أو λ = $\frac{٢ \, ل}{ن}$

وأخيراً $\text{ق}_{\text{ن}} = \frac{1}{2}\,\text{ك}\,\frac{\text{هـ}^2\,\text{ن}^2}{\text{ك}^2\,4\,\text{ل}^2} = \frac{\text{ن}^2\,\text{هـ}^2}{8\,\text{ك}\,\text{ل}^2}$

وهذه السلسلة من قيم الطاقة الناشئة نتيجة لشرط الربط الذى يحتم كما ذكرنا سابقاً $\frac{2\,\text{ط}}{\lambda}\,\text{ل} = \text{ن}\,\text{ط}$

فإذا كان طول المدار فى الذرة (٢ ط ا) مضاعفا كاملا لطول الموجة λ المرتبطة بالإلكترون تجد مجموعة أمواج ثابتة كما فى الصورة السابقة . « وهذه المجموعة من الأمواج الثابتة تسمح لنا بالحصول على سلسلة متصلة من قيم الطاقة ولكنها لا تسمح لنا بأن نحدد فى نفس الوقت موقع إلكترون على مسار محدد .

إننا لا نستطيع عندئذ أن نحدد إلا احتمالات التواجد .

« لقد كانت المأساة الكبرى للميكروفزياء المعاصرة هى اكتشاف الثنائى الأمواج والجسيمات » (لويس دى بروى)

وبينما يبدو أن طور الموجة له معنى فزيائى معين مادام يسمح لنا بالوصول إلى طاقة الجسيم نجد أن التوزيع المنتظم لسعة موجة واحدة اللون لا يسمح لنا إذ يخفى الموضع الحقيقى للجسيم أن نعطيه معنى فزيائيًّا .

إن الحتمية تستوجب أن يتحدد فى الفضاء موقع جسيم ذو طاقة معلومة والميكانيكا الموجية والتفسير الاحتمالى للموجة يدخلان اللاحتمية إلى قلب الفزياء .

وتجرى حاليًّا أبحاث تحاول إعادة تفسير الميكانيكا الموجية فى الاتجاه الذى أوضحه ل دى بروى عام ١٩٢٧ ، فنى ذلك الوقت فرض ل دى بروى « إن كل حل متصل Ψ من معادلات الميكانيكا الموجية كان بشكل ما يلازمه حل له غرابة v يضم غرابة متحركة عموما (الجسيم) ولها نفس طور الحل Ψ »

ومهما كان الأمر « فإن الميكانيكا الموجية فى شكلها الاحتمالى قد تقابلت ثانية مع ذلك مع النتائج التجريبية التى تنبأ بها نموذج بوهر — سمر فيلد الذى عُدّل

---

(١) غرابة : ترجمة اقترحها للاصطلاع Singularité بمعنى نقطة انفصال أو نقطه فريدة (المترجم)

مرات عدة . لقد فسرت كل شيء ما عدى تأثير زيمان غير العادى ذلك التأثير الذى أسقط نظرية سمر فيلد – والذى لم يفسَّر إلا بعد إدخال فكرة جديدة هى فكرة لف الإلكترون .

ولم تكن معادلة شرود نجر تتضمن هذا المميز الأساسى .

لقد كان ضروريًّا أن تحيط معادلة موجة الإلكترون بهذه الخاصية الأساسية. لقد كانت معادلة شرودنجر لا نسبية أى لا يمكن تطبيقها على مجموعات من الجسيمات سرعاتها لا يمكن إهمالها بجانب سرعة الضوء .

لقد بحث ديراك عن التعبير النسبى لمعادلات موجة الإلكترون وعندما توصل إليه استطاع أن يوضح أن اللف كان متضمنا تلقائيًّا فى هذه الصياغة الجديدة .

وفى أثناء هذا التعميم الذى أدخل نظرية النسبية فى الميكانيكا الموجية حدث أن ظهرت حلول جديدة فى الجهاز الرياضى تجسد عند ذلك خواص المادة .

وهذه الحلول الجديدة تتطلب بدورها فروضاً جريئة لم تلبث أن فُرِضَتْ ولقد كانت هذه الفروض هى أضداد الجسيمات التى يمكن أن يتكون منها ضد المادة .

الفصل السادس

نظرية ديراك

لم تستطع الميكانيكا الموجية لشرود نجر أن تحيط بلف الإلكترون وكانت معادلة الموجة تحدد الدالة Ψ باعتبارها كمية مقياسية أى مقدار فريد ليس له اتجاه .

ثم حاول بولى إدخال اللف فى الميكانيكا الموجية ومن أجل هذا أدخل داله موجة Ψ لها مركبتان تناظران الاتجاهان الممكنان للف وقد كان هذا بمثابة خطوة إلى الأمام أبعد مما ذهبت إليه نظرية شرودنجر ولكن نظرية بولى لم تكن نسبية هى الأخرى .

ففى معادلة الانتشار لشردونجر تظهر مع داله الموجة Ψ المرتبطة بالإلكترون الطاقة ش لهذا الأخير فإذا كنا نحصل فى الميكانيكا غير النسبية على الطاقة ش لجسيم بدلالة سرعته $\overrightarrow{\text{ع}}$ أو كمية حركته $\overrightarrow{\text{ک}}$ بواسطة :

$$\text{ش} = \frac{1}{2}\,\text{ك}\,\text{ع}^2 = \frac{1}{2\,\text{ك}}\,\text{ک}^2$$

وهو يناظر قيمة للطاقة ش موجبة على الدوام فإننا فى الميكانيكا النسبية نكتب المعادلات السابقة كما يلى :

$$\text{ش}^2 = \text{ك}^2\,\text{ج}^4 + \text{ج}^2\,\text{ک}^2$$

ومنها $\text{ش} = \pm\,\text{ج}\,\sqrt{\text{ك}^2\,\text{ج}^2 + \text{ک}^2}$

الذى يسمح كما نرى للطاقة ش أن تكون إما موجبة أو سالبة .

إن هذه النقطة غاية فى الأهمية بالنسبة إلى نظرية أضداد الجسيمات وهذا هو السبب الذى جعلنا نُصِر فى اهتمام على محاولة شرح نظرية النسبية المقيدة رغم مافى ذلك من صعوبات .

لقد أوضح ديراك بعد أن وضع الشكل النسبى لمعادلة شرود نجر أن دالة الموجة Ψ قدر له أربع مركبات (وأن المعادلات التى نحصل عليها بهذا الشكل لا متغيرة بالنسبة إلى تحويل لورنتز . ونحن نعرف الآن مغزى هذا . إن معناه هو أن (الميكانيكا الموجية الجديدة مرضية من وجهة النظر النسبية المقيدة وهى مرضية لأسباب أخرى أيضا ذلك أن معادلات ديراك شملت ضمنيا اللف والعزم المغناطيسى للإلكترون إذ أدخلتهما فيها النسبية كما شملت الحقائق التجريبية الأخرى فى مجموعها بما فى ذلك أثر زيمان غير العادى.

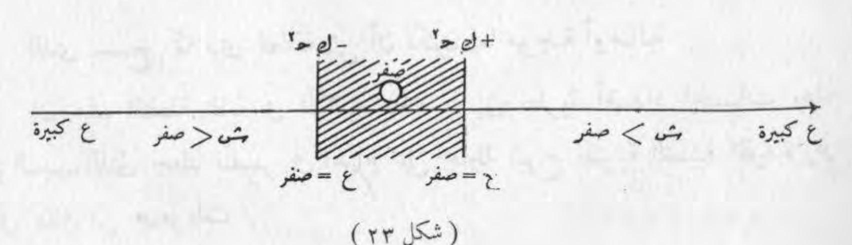
أخيراً عندما تكون سرعة الإلكترون صغيرة بالسبة إلى سرعة الضوء تكون اثنتان من مركبات دالة الموجة لديراك مما يمكن التجاوز عنه ويبقى بعد ذلك مركبتان ونعود ثانية إلى نظرية بولى .

وليس هناك أدنى فائدة من أن نعيد هنا كتابة تلك المعالات المشهورة التى تضمنت كل شىء إن الفزياء النظرية كانت فى تلك الفترة من عام ١٩٢٨ قد ارتقت إلى أعلى مراتب التجريد ولم نعد نجرى فى إثر تصوير للإلكترون .

وفى عام ١٩٢٩ نشر ديراك بحثا عنوانه « نظرية الإلكترونات والبروتونات »

ابتدأ مؤلف الميكانيكا الموجية النسبية بالإشارة إلى صعوبة كامنة فى نظريته وكانت هذه الصعوبة راجعة إلى وجود القيم السلبية الممكنة لطاقة الإلكترون تلك القيم السلبية التى استوجبتها كما رأينا من قبل نظرية النسبية .

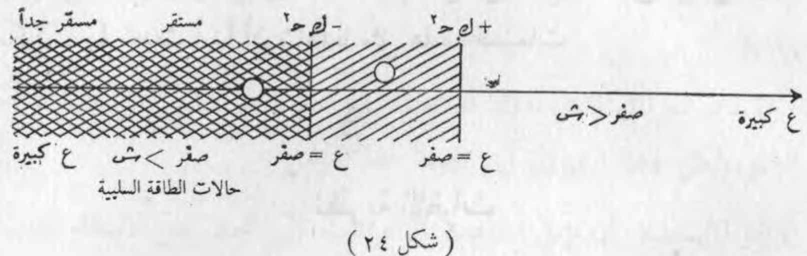
فى التعبير النسبى ش ، ك ج ٢ الذى يمثل طاقة الإلكترون الساكن لا يوجد بين – ك ج ٢ ، + ك ج ٢ قيمة طاقة ممكنة للإلكترون إن ش موجبة من بعد ك ج ٢ وهى سالبة فيما قبل – ك ح ٢



(شكل ٢٣)

وتتغير طاقة الجسيم تبعاً للميكانيكا الكلاسيكية بل حتى تبعاً للميكانيكا النسبية على نحو متصل بحيث لا يكون هناك حرج فى أن نشترط ش > صفر مادام التغيير المتصل للطاقة يصطدم بذلك الحائط الذى هو الطاقة الداخلية + ك جـ ٢ ولا يمكن أن يتخطاه .

« أما فى النظرية الكماتية على العكس والميكانيكا الموجية ميكانيكا كماتية فيمكن أن تتغير الطاقة على نحو متجزئ يسير فى وثبات وتبعاً لذلك يستطيع أن يتخطى عقبة ٢ ك جـ ٢ منتقلا هكذا من **ش** > صفر إلى **ش** < صفر والعكس



(شكل ٢٤)

وليس إذاً هناك أدنى سبب فى الميكانيكا الكماتية لاستبعاد الحلول ذات الطاقة السالبة » .

وإذا كنا لا نريد أن ننبذ هذا الرأى الذى تصوره الميكانيكا الكماتية النسبية ينبغى أن نبحث عن مغزى فزيائى لحالات الطاقة السالبة .

ويبحث ديراك عند ذلك عن معنى فزيائى لهذه الحالات الجديدة . « إن إلكترونا فى حالة طاقة سالبة هو شىء غريب تماماً عن تجربتنا ولكننا مع ذلك نستطيع أن ندرسه من الناحية النظرية . إننا نستطيع على الأخص أن نحسب حركته فى مجال كهرامغنطيسى ما نفرضه . وكانت نتيجة هذا الحساب سواء تبعاً للميكانيكا الكلاسيكية أو النظرية الكمية هى أن الإلكترون ذا الطاقة السالبة ينحرف بفعل المجال مثلما ينحرف إلكترون ذو طاقة موجبة إذا كان له شحنة كهربائية + e »

ثم يكتب ديراك فى بحثه الذى نشره فى ديسمبر سنة **١٩٢٩** ما يلى : «بهذا الشكل يتحرك إلكترون ذو طاقة سالبة فى مجال خارجى كما لو كان يحمل شحنة موجبة .

وقد حملت هذه النتيجة بعض العلماء على الظن فى وجود علاقة بين الإلكترون ذوى الطاقة السالبة والبروتون أو نواة الهيدروجين .

ولكن ديراك لم يقبل تشبيه الإلكترون ذوى الطاقة السالبة بالبروتون واعترض باعتراضات مختلفة وعلى الأخص : « إن انتقال إلكترون من حالة طاقة موجبة إلى حالة طاقة سالبة سوف يفسر كتحول للإلكترون إلى بروتون وهذا لا يستقيم مع قانون بقاء الطاقة الكهربائية . . .

إن إلكترونا ذا طاقة سالبة سوف يكون له أقل ما يكون من الطاقة كلما تحرك بسرعة أكبر وسوف يتعين عليه أن يمتص من الطاقة لكى يصل إلى حالة السكون . ولم يحدث أبداً أن شاهدنا مثل هذه الجسيمات .

نظرية الثغرات

لقد كانت حالات الطاقة السالبة كما نرى صعبة التفسير ولم يكن فى الإمكان الإفلات من هذا المأزق دون أن نتخذ مرة ثانية فروضا جريئة . وهذا هو عين ما فعله الباحث النظرى الإنجليزى الشاب فى الفصل الثانى من بحثه عندما يعرض « حلا للمشكلة المتعلقة بالطاقة السالبة »

ينبغى أن نتذكر أن أكثر حالات الجسيمات استقراراً هى الحالات التى تكون فيها الطاقة أوطأ ما يكون وبالنسبة للإلكترونات تكون تبعاً لنظرية ديراك أكثر الحالات استقراراً هى الحالات ذات الطاقة السالبة مع سرعة كبيرة ع .

ويصوغ ديراك عند ذلك فرض أن « كل الإلكترونات فى العالم تميل إلى الهبوط إلى هذه الحالات مع إطلاق إشعاع » . ثم يستند إلى مبدأ الاستبعاد لبولى لكى يضيف أننا لا نستطيع أن نعثر على أكثر من إلكترون فى كل من هذه الحالات . ومن هنا جاءت هذه القضية : « كل حالات الطاقة السالبة مشغولة ماعدا ربما البعض ذات السرعة الصغيرة .

ولما كانت حالات الطاقة السالبة على هذا النحو مشغولة جميعها تقريبا .

فلن يكون إذاً أمام الإلكترونات ذات الطاقة الموجبة إلا فرصة ضئيلة للتغير الذى ينقلها إلى ناحية الطاقة السالبة وسوف تظل إذاً إلكترونات موجبة الطاقة وهذه هى التى نشاهدها فى معاملنا .

أما من ناحية الطاقات السالبة فسوف يكون لدينا عدداً متناهياً من الالكترونات تشغل هذه الحالات . وهذا التوزيع المنتظم يمر دون أن نلحظه لنفس انتظامه .

وهكذا نرى أنه إذا كانت الإلكترونات ذات الطاقة السالبة لا تشاهد أبداً فى التجارب فذلك لأنه يوجد منها عدد لانهائى فى وحدة الأحجام . . وهذا فى كل مكان فى العالم — وفوق ذلك فهذه الإلكترونات فى أشد الحالات استقراراً فى الوجود .

ربما كان الفزيائى الذى اعتاد أن يعتمد على صورة لا يرضى عن هذا الفرض تمام الرضى ولكن دعنا نرى إلى أين يقودنا هذا الفرض .

« إننا لانستطيع أن نؤمل مشاهدة الانحرافات التى تحيد عن الانتظام الصارم فيما عدا الصغيرة منها التى تنشأ لأن بعض حالات الطاقة السالبة غير مشغولة »

ويتناول ديراك عند ذلك خواص تلك « الثقوب » أو تلك « الثغرات » فى التوزيع المتصل لحالات الطاقة السالبة ويوضح أن حركة « ثغرة فى مجال كهرا مغنطيسى خارجى هى نفس حركة شحنة موجبة + e لها طاقة موجبة . ومن هذا يصل إلى الفرض التالى : إن الثغرات فى توزيع الإلكترونات ذات الطاقة الموجبة هى بروتونات » .

ونرى أن هذه النظرية للثغرات تزيل الصعوبات التى قابلناها عندما أردنا المطابقة المباشرة بين الإلكترون ذى الطاقة السالبة والبروتون . مادام الانتقال من الإلكترون ش > صفر إلى حالة ش < صفر يناظر الآن التقاء إلكترون ببروتون وهو التقاء يصحبه اختفاء جسيمين وانطلاق إشعاع ومن المفيد أن نلاحظ فيما يتعلق بذلك البحث الأول لديراك أن المؤلف بعد أن وضع فروضاً غاية فى الجرأة فإنه عندما يوشك أن يقرر أن الثغرة لها نفس سلوك جسيم ذى شحنة موجبة يوقف عند هذا الحد فروضه ويدخل فى نظريته الجسيم الوحيد ذو الشحنة الموجبة + e

المعروف فى ذلك الحين وهو البروتون وهذا يدفعه إلى أن لايفترض سوى نوعا واحدا أساسيا من الجسيمات بدلا من اثنين – الإلكترون والبروتون – اللذين كانا بالضرورة مرتقبين .

ألم يكن يجدر بالباحث النظرى أن يذهب إلى أبعد من هذا وأن يفترض فوراً وجود جسيم جديد له نفس كتلة الإلكترون وشحنة + e وهو ضد الإلكترون ... ؟ يبدو أن هذا البحث الأول لديراك يوضح إلى أى حد يدرك الباحث النظرى ضرورة استعادة اتصاله بالحقيقة بأسرع ما يستطيع أى اتصاله بالتجربة حتى ولو كان لتوه يداعب فى خياله مذهبا فكريًّا غاية فى التجرد . فعندما ظهرت الشحنة الموجبة + e فى رسالته الجميلة اتجه فكر ديراك فوراً نحو البروتون ولكنه أشار على الفور إلى الصعوبات التى تعترض السبيل عند ذلك بسبب الفرق الكبير بين كتلتى الإلكترون والبروتون وكان هذا التباين عقبة كأداء .

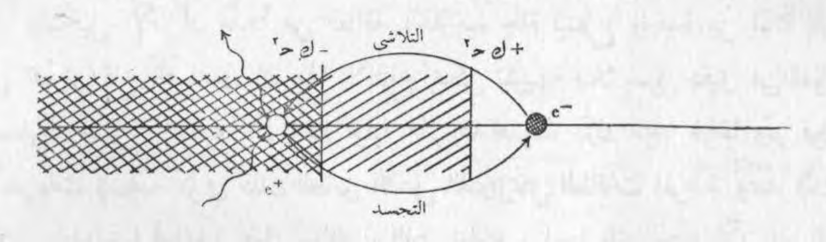
وعاد ديراك عام ١٩٣١ فى ٢٩ مايو فى بحث آخر إلى نفس هذه المسألة موضحاً أن أبحاثه توضح أن الجسيم الذى يناظر الثغرة له حتما نفس كتلة الإلكترون . ويقترح ديراك فى ذلك الحين بعد الإشارة إلى أبحاث ويل وأوبنهيمر التى توحى بأن ثقبا فى حالات الطاقة السالبة ينبغى اعتباره بمثابة نوع جديد من الجسيمات أن يسمى مثل هذا الجسيم ضد الإلكترون ويشير إلى صعوبة مشاهدته نظراً إلى السهولة الكبرى لعودته إلى الاتحاد مع الإلكترون السالب العادى .

وفى هذا البحث يتناول ديراك مسألتى تلاشى المادة وتجسيد الطاقة بل إننا نقرأ فيه فوق ذلك العبارة التالية : « ربما كان للبروتونات أيضا حالاتها الخاصة من الطاقة السلبية وكلها مشغولة عادياوالحالة غير المشغولة تبدوكما لو كانت ضدالبروتون» .

وهكذا يتخيل ديراك وجود ضد البروتون خمسة وعشرون عاما قبل اكتشافه ومع ذلك ظلت نظريته مجهولة من الجمهور الكبير .

لقد حدث لهذه النظرية من منذ ذلك الحين تعديلات متعددة ثم حلّقت مرة ثانية فى سماء التجريد وأمكن التغلب على صعاب معينة فى نظرية الثغرات وقد أعاد مؤخراً التقدم المفاجئ فى الطاقة الذرية والوسائل الهائلة التى استخدمت فى

هذا المجال إلى صفحة آخر الأنباء مسألة أضداد الجسيمات . ولكن عامة الجمهور لم يظل هذه المرة متباعدا عن هذا التصوير .



(شكل ٢٥) التلاشى والتجسيد

وأيًّا كان الشكل الحالى لنظرية أضداد الجسيمات فإن مشكلة ضد المادة توجد أصلا فى نظرية الثغرات التى وضعت لتتفادى التعارض مع نظريات قدمت بصورة كافية البرهان على كفاءتها ونعنى بذلك نظرية النسبية والميكانيكا الكماتية .

إن نظرية الثغرات إذا كانت قد فقدت بعض بريقها فى نظر الفزيائى الذى يجد فى متناول يده الجهاز الرياضى الحديث تظل نافعة على قدرما تتيح لنا تفادى الصيغية المجردة وعلى قدر تقديمها لنا صورة واضحة المعالم .

إننا نستطيع فعلا أن نحاول أن نقدم صورة لهذه النظرية يتضح فيها نقصان الجسيم كما لو كان له خواص ضد الجسيم .

من المسلم به أن الإلكترون يمكن أن يكون له إما طاقة ش موجبة وهى بالضرورة أكبر من ك جـ ٢ وإما طاقة سلبية وهى عند ذلك أصغر من – ك جـ ٢ .

ولكى نوضح أفكارنا دعنا نتخيل صندوقا مفرطحاً جداً يمكن أن يحتوى على مائة من الكرات الصغيرة (البلى) موزعة فى طبقة واحدة وهى من الصغر بحيث لا تترك فعلا أى فراغ . إذا كانت الكرات الصغيرة تشكل قاعا متصلا فى الصندوق فإنها لا يمكن مشاهدتها .

أما إذا كان الصندوق يحتوى على ١٥٠ بلية فإن خمسين من بينها لن تجد مكانا على أرضية الصندوق وسترتفع فوق الأخريات. إن المائة بلية التى تكون بساطاً على قاع الصندوق يمكن تشبيهها بالإلكترونات ذات الطاقة السلبية ش < – ك. جـ ٢

والحمسون الأخرى ستسلك مثل الإلكترونات السلبية العادية ذات الطاقة الموجبه ش > ك. ج٢ وهذه يمكن مشاهدتها ويمكن دراسة حركاتها وتفاعلها فيما بينها .

ولنتخيل الآن أن مدداً من الطاقة الخارجية جاء لينتزع واحدة من المائة بلية التى تفترش قاع الصندوق إن هذا الانتزاع يمكن تشبيهه مثلا بسيل دقيق من الهواء المضغوط حسن التوجيه إن هذه البلية المنزوعة سوف تترك مؤقتا فراغا وتمر فوق الأخريات وسوف تمر فى ذلك الطابق الأعلى الذى يمثل الطاقات الموجبة وعند ذلك يمكن مشاهدتها أما فيما يتعلق بالثقب الذى خلفته وراءها فإنه يعتور الآن اتصال البساط الذى يمثل الطاقات السلبية وقد صار هو الآخر مشاهداً وسيظهر كجسيم له طاقة موجبة ما دام يناظر غياب جسيم ذو طاقة سلبية وسيكون له شحنة موجبة ما دام يناظر نقص شحنة سالبة وسوف يسلك هذا الثقب فى بساط الإلكترونات السالبة ذات الطاقة السلبية مثل إلكترون موجب ذو طاقة موجبة « ونرى ظهور ضد إلكترون فى مواجهة الإلكترون الكلاسيكى هو الإلكترون الموجب أو البوزيترون » .

دعنا نعود الآن إلى الثغرة إنها لن تظل شاغرة طويلا لأنه إذا حدث أن مرت إحدى الكرات الواحد والخمسون التى تموج فى طابق الطاقات الموجبة بجوار الثقب والاحتمال كبير أن تسقط فيه معيدة بذلك اتصال الوسط وعند ذلك لا يختفى جسيم بل جسيمان الإلكترون والبوزيترون . هكذا نحصل على صورة تقريبية لتلاشى المادة حيث يحطم إلكترون وضد إلكترون كل منهما الآخر .

وينبغى أن نجد طاقتهما الكلية – بما فيها طاقة ٢ ك ج ٢ المناظرة لكتلة الجسيمين على شكل فوتونات .

أما الظاهرة العكسية – خلق زوج إلكترون وضد إلكترون فتستلزم طاقة أعلى من ٢ ك ج٢ مادام الأمر هو خلق هذين الجسيمين (إلكترون وضد إلكترون) وعلى ذلك ينبغى أن يكون للفوتون الذى يمدنا بهذه الطاقة طاقة أعلى من مليون إلكترون فولت ١

ربما كان من المفيد فى ختام هذا العرض لنظرية ديراك أن نذكر مميزات الإلكترون وضد الإلكترون الذى تخيلناه .

	إلكترون	ضد إلكترون
شحنة	— ١,٦ × $١٠^{-١٩}$ ك	— ١,٦ × $١٠^{-١٩}$ ك
كتلة	٠,٩ × $١٠^{-٢٧}$ جم	٠,٩ × $١٠^{-٢٧}$ جم
لــف	$\frac{١}{٢}$	$\frac{١}{٢}$
عزم مغنطيسى	— $\frac{e\ هـ}{٤\ ط\ ك\ ج}$	$\frac{e\ هـ}{٤\ ط\ ك\ ج}$

لم يكن مقدراً على الإلكترون الموجب أن يظل مجرد طيف خيال لمدة طويلة لقد أعطيت الكلمة للباحثين التجريبيين وهؤلاء لم يتأخروا طويلا فى إثبات وجود ضد الجسيم الأول هذا .

الفصل السابع

الفزياء التجريبية فى مستهل القرن العشرين

الإلكترون الموجب

لقد اجتهدنا فى الصفحات السابقة أن نترسم سعى الفكر العلمى الحديث فى توضيح معالم فزياء جديدة أكثر فعالية من الفزياء الكلاسيكية فى مجال الذرة . ولقد قادنا هذا إلى أن نفرد مكاناً كبيراً لأفكار الباحثين النظريين ولم يكن هذا إسرافا لأن مستهل القرن العشرين كان حقـًا غنيـًا جداً فى الفروض السعيدة . لقد وجهت النسبية والكمات والميكانيكا الموجية الفزياء صوب آفاق جديدة لقد وضعت هذه النظريات المجردة بين يدى الإنسان الحديث مصدراً للطاقة لا حد له هو الطاقة الذرية . ولقد كان ضرورياً لفهم أضداد الجسيمات أن نستعرض الخطوط العريضة لتلك النظريات وقد فعلنا . والآن ينبغى أن نهبط من سماوات التجريد العالية لنتجول فى معامل الأبحاث حيث نجد المجربون يتابعون دراسة خواص المادة وعلى الأخص خواص النواة الذرية فسوف تهب الآن نسمات التقدم العلمى من هذه الناحية .

لقد كنا — فيما عدى فرض بروت ويرجع تاريخه إلى عام ١٨١٥ وكان يجعل من نواة الهيدروجين الوحدة التى تتكون منها كل نواة أخرى — نجهل كل شىء عن قلب الذرة. لقد تخيلنا أن عدد إلكترونات الذرة يمكن أن يساوى نصف الوزن الذرى ورتبنا العناصر ترتيباً تصاعدياً بالنسبة لهذا المقدار ثم توصلنا إلى ترتيبهاتبعا لشحنتها (تصنيف مندليف) .

ولقد شق بيير ومارى كورى باكتشافهما النشاط الإشعاعى الطبيعى طريقا جديداً للبحث . فدراسة خواص النشاط الإشعاعى للعناصر الثقيلة لا بد أن تسمح لنا بالحصول على معلومات قيمة حول بناء وترتيب النواة

ولقد أثار اكتشاف النظائر وهى أجسام تختلف فى خواصها الفزيائية ولكنها

متطابقة كيميائيًّا مشكلة استغرق حلها وإجلاء غوامضها عشرين عاماً .

ولقد كان أهم نجاح تحقق فى محاولة استكشاف النواة هو دون شك ماقام به رذرفورد عام ١٩١٩ حيث قام بأول تحويل ذرى . وفى أثناء عملية تحويل الأزوت هذه إلى أوكسجين انطلقت نوى الأيدروجين أو البروتونات . إن هذه الجسيمات لها شحنة مساوية لشحنة الإلكترون ولكنها موجبة ولم يكن ممكنا أن تصدر إلا عن نوى الأزوت التى انشطرت جزئيًّا بعد قذفها بالجسيمات الصادرة عن جسيم ذى نشاط إشعاعى طبيعى فتركت أحد مكوناتها يفلت منها .

جسيم ألفا + أزوت ⟵ أوكسجين + بروتون

هى$^{٤}_{٢}$ + ١٤ ز$^{١٤}_{٧}$ ⟵ ١ ز$^{١٧}_{٨}$ + يد$^{١}_{١}$

لقد كانت البروتونات والإلكترونات تبدو عام ١٩٢٠ المكونات الوحيدة للمادة فقد كانا الجسيمان الأوليان المعروفان عندما وضع ديراك نظريته ولقد أعيدت تجربة ردرفورد فى كل بلاد العالم تقريبا معلنة قيام كيمياء جديدة : الكيمياء النووية .

وكانت القذائف التى استخدمت لتحطيم النواة جزئيًّا هى جسيمات ألفا وقنع الباحثون بتغيير الهدف فقذفوا البور والفلور والصوديوم والألمونيوم .

«لقد أدت هذه التجارب المتنوعة المتعددة إلى اكتشاف مكون جديد للمادة (أى وحدة جديدة تدخل فى تكوين المادة هى) النيترون (١٩٣٢) وهدت ايرن وفردريك جوليو كورى إلى اكتشاف نمط جديد للنشاط الإشعاعى هو النشاط الإشعاعى الصناعى (١٩٣٤) .

وسوف نعود إلى هذين الاكتشافين الكبيرين ولكن ينبغى الآن أن نستمر فى زيارتنا للمعامل لكى نلقى نظرة سريعة على ماكانت عليه الوسائل المعملية الشائعة فى ذلك الحين لدراسة ظواهر النشاط الإشعاعى .

إن كشف الإشعاعات التى تتكون من جسيمات مشحونة ممكن بفضل ظواهر التأين التى تبعثها وعلى ذلك ينبغى أن نلخص الأساس فى التكنيكات التالية :

(١) قياس شدة إشعاع مشحون (الإلكتروسكوب)

(٢) إظهار مسار جسيم مشحون (غرفة ويلسون)
(٣) عد الجسيمات المشحونة (طريقةالومضاتوعددات جيجر)

١ – قياس شدة إشعاع مشحون (الإلكتروسكوب) :

يتكون الإلكتروسكوب من غرفة توضع بها المادة التى يراد قياس شدة إشعاعها وهذه الغرفة متصلة بأداة قياس كهربائى بواسطة قطب معزول كهربائياً عن الكتلة المعدنية للجهاز .

وأداة القياس الكهربائى هذه تتكون من ورقة رقيقة جداً من الذهب معلقة تعليقاً حراً بقضيب معدنى ثابت متصل بقطب الغرفة . ونستطيع بواسطة عدسة أن نرى بوضوح المنظر الجانبى للورقة الذهبية أمام تدريج قياس ميكروئى .

وتشحن الورقة مقدما ولذلك تتباعد عن حاملها الثابت (تنافر شحنتان متحدتى الإشارة) .

فإذا وضعنا فى الغرفة مادة ذات نشاط إشعاعى تعمل الأشعة الصادرة عنها على تأين الهواء وتنهار شحنات أداة القياس الكهربائى بواسطة القطب الموضوع فى هذا الهواء الذى تحول إلى موصل للكهرباء بهذا الشكل .

وسرعة سقوط الورقة وترى فى العدسة سوف تكون عند ذلك متناسبة مع تيار التأين فى الغرفة .

٢ – إظهار مسار جسيم مشحون (غرفة ويلسون) :

إن غرفة التأين مكونة من أسطوانة مملوءة بالهواء المشبع ببخار الماء ويتكون الوجه الأسفل من الغرفة من مكبس . إن انخفاضا سريعاً مفاجأ لهذا المكبس يتولد عنه فى الغرفة هبوط فى ضغط الهواء ويجعل مسار جسم مكهرب يعبر الغرفة فى تلك اللحظة مرئياً .

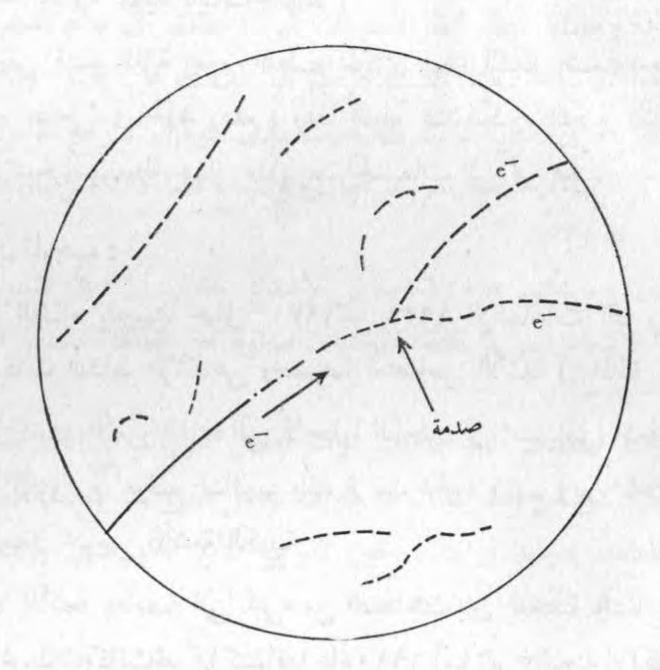
إن الأيونات التى تتكون حول الجسيم تصبح فى الواقع مراكز تكثف لبخار الماء المشبع ويتكون عندئذ خط من الضباب يصور من الناحية العليا للغرفة .

ونحصل بهذه الطريقة على نوع من التجسيد للمسار . وإذا وضعت الغرفة

فى مجال مغنطيسى نستطيع إذا كنا نعرف طبيعة الجسيم الذى يعبرها الوصول إلى قيمة طاقته تبعاً لمدى انحناء مساره .

٣ – عد الجسيمات المشحونة :

(ا) طريقة الومضات : عندما يصطدم جسيم مشحون ثقيل : الجسيم الفا أو البروتون . بشاشة مفسفرة ينبعث منها وميض أى برق صغير يمكن أن يرى بمساعدة ميكروسكوب .



(شكل ٢٦) صورة اكلشيه أخذ فى غرفة ويلسون .

ولا تستعمل اليوم هذه الوسيلة لأنها متعبة وغير دقيقة ولكن يجب مع ذلك أن نلاحظ أنه بفضل هذه الطريقة استطاع رذرفورد الكشف عن أول تحول للمادة تحويل الأزوت إلى أوكسجين مع إطلاق بروتون. ولقد جددت طريقة الومضات بإحلال أنبوبة إلكترونية محل عين الراصد (انظر ص ٨٦) .

(ب) عداد جيجر : يتكون عداد جيجر – موللر لكل غرفة تأين من قطبين :

إسطوانة من الألمونيوم ثخانتها $\frac{١}{١٠}$ مم وتكوّن القطب السالب وهى موصلة بالكتلة. ثم خيط مركزى موضوع تبعاً لمحور هذه الأنبوبة ومعزول عنها بعناية ويكون القطب الموجب. وهذا الخيط يرفع إلى جهد حوالى ١٠٠٠ فولت.

وعندما يتسلل جسيم متأين أى مشحون كهربائيًا فى العداد يولد فى غاز الحجرة عدداً معينا من أزواج الإيونات (أيون + ه — e^-) تنتقل فى المجال الكهربائى القائم بين القطبين. وفى مجاورة السلك المركزى تتعجل الإلكترونات وتحصل على الطاقة الكافية لتوليد تأينات جديدة.

وفى زمن قصير للغاية يجمع القطب المركزى بهذا الشكل شحنة معينة يتسبب عنها تغيير مفاجئ فى الجهد (دفع) وهذا الدفع عند تكبيره التكبير المناسب يمكن عند ذلك تسجيله بواسطة جهاز عداد يعد الجسيمات التى تمر فيه.

الإلكترون الموجب:

كان العلماء يدرسون حوالى ١٩٣٠ — ١٩٣١ الإشعاعات الفا وبتا وجاما للأجسام ذات النشاط الإشعاعى وخصوصا امتصاص الأشعة فى المادة.

لقد كانت الأمور الشاذة التى لاحظها الباحثون فى امتصاص أشعة جاما التى يصدرها الفوريوم موضع تساؤلهم ولقد قربت الحيرة بينهم وبين باحثون آخرون كانوا يدرسون خواص الأشعة الكونية.

تلك الأشعة الغامضة التى تجيء من الفضاءات بين النجمية وتتسلل فى داخل الأرض والمحيطات وكانت قد تم اكتشافها عام ١٩١٠ أنها تفرغ شحنة الإلكتروسكوب ذو ورقة الذهب وقد وضع على ارتفاع ٥٠٠٠ أو ٩٠٠٠ متر. وهذا التفريغ يدل على أن الأشعة الكونية مكونة من جسيمات مكهربة شديدة النفاذ.

لقد كان امتصاص الأشعة الكونية فى المادة موضوع أبحاث صعبة منذ عدة سنوات.

ولقد كان الفزيائى الروسى سكوبلزين قد استخدم منذ ١٩٢٩ طريقة غرفة ويلسون فى دراسة الجسيمات الكونية واستطاع أن يظهر أن طاقتها كبيرة جدًا تبلغ أحياناً أكثر من ١٥ مليون إلكترون فولت. وفى عام ١٩٣٢ وضع آندرسن وميلكان

غرفة ويلسن بين حديدتى مغنطيس كهربائى كان مجاله المغنطيسى يجعل جسيمات مشحونة تتحرك فى مسارات منحنية فى الغرفة وكان اتجاه وانحناء المسار يتيح لنا تحديد نوع الشحنة ومقدار كتلة الجسيم .

لقد لاحظ اندرسن على الكليشهات الفوتوغرافية مسارات تنم عن وجود جسيمات مشحونة بشحنة موجبة وكتلتها صغيرة بالنسبة إلى كتلة البرتون . وأيدت تجارب أخرى هذه النتائج . وقد سميت هذه الجسيمات الموجبة بوزيتونات وعندما حصلنا على معلومات كافية ظهر أن البوزيتونات كانت إلكترونات موجبة أى أضداد الإلكترونات تبعاً لنظرية ديراك التى وجدت فى هذه التجربة إثباتاً لم يكن متوقعاً تقريباً . وقد كشف الإلكترون الموجب عن نفسه فى مجالات أخرى من الفزياء فى نفس الوقت كما يحدث ذلك كثيراً فى التاريخ العلمى .

لقد ذكرنا آنفاً أن الامتصاص غير العادى للإشعاع جاما كان يقلق بال الفزيائيين عام ١٩٣٠ — ١٩٣١ .

فمن أى شيء يتكون هذا الامتصاص لإشعاع جاما . . . ؟ إن الفوتونات التى تكوّن هذا الإشعاع ليس لها كتلة إنها حبات صغيرة من الطاقة تحددها كما نعرف العلاقة ق = ه ت .

إن دراسة امتصاص أشعة جاما هى دراسة تفاعل الفوتونات مع المادة ولكن المادة مكونة فى جزء كبير من إلكترونات فما هو إذا تفاعل الفوتونات مع الإلكترونات ؟ لقد كان العلماء يدرسون فى ذلك الحين تأثيرين التأثير الكهراضوئى وتأثير كومبتون ودعنا الآن نذكر النقاط الأساسية فيهما .



(شكل ٢٧) الأثر الكهراضوئى .

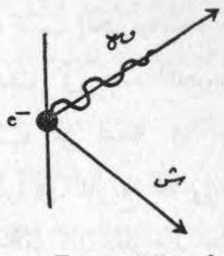
١ — التأثير الكهراضوئى :

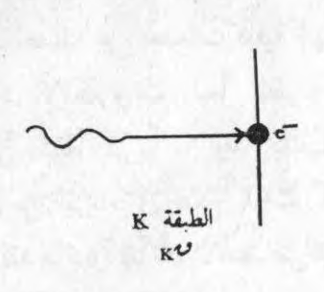
يتنازل الفوتون عن كل طاقته للإلكترون ويصبح لهذا الأخير عند ذلك طاقة

حركة تناظر الفرق بين طاقة الفوتون والطاقة التى تربط الإلكترون فى الذرة التى انتزع منها .

٢ – أثر كومتون :

يتنازل الفوتون عن جزء فقط من طاقته للإلكترون فيبقى الفوتون إذاً ولكنه يتغير تردده فى نفس الوقت الذى تتغير فيه طاقته وكما فى الأثر الكهراضوئى ينتزع إلكترون من الذرة .





(شكل ٢٨) تأثير كومتون

وقانون هذين التأثيرين يسمح بتقدير نقص شدة حزمة من أشعة جاما تعبر شاشة من الرصاص مثلا .

△ ش = ش ن ى س (فوᵐ — كوᵐ)

ش الشدة الساقطة

ن عدد الذرات فى وحدة الحجم للمادة التى تمتص .

ى س سمك الماص .

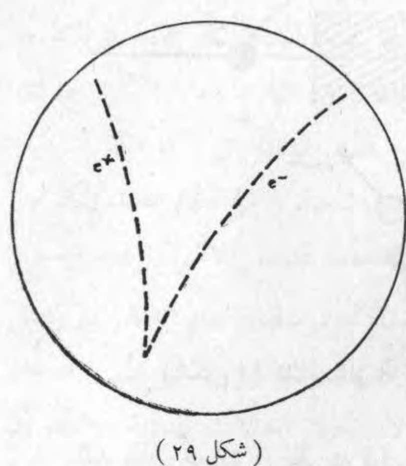
فوᵐ المقطع العامل للأثر الكهراضوئى

كوᵐ المقطع العامل لأثر كومتون .

وعندما يكون للشعاع الساقط طاقة أعلى من مليون فولت فإن الامتصاص (أو نقص الشدة) △ ش يكون أكبر مما تحدده النظرية .

ولقد كان هذا الأمر غير العادى يتطلب تفسيراً . « لقد أثبت ا ، ف جوليو بطريقة مسارات الضباب أن إشعاعاً من الفوتونات قادر عندما يخترق المادة أن

يبعث على إطلاق الإلكترونات الموجبة وحصلا على أول صورة توضح ظهور إلكترون موجب وإلكترون سالب فى غاز مبتدئين من نقطة واحدة (شكل ٢٩). لقد كان هذا هو البرهان على تجسيد الطاقة . إن الفوتون عندما تتوافر له الطاقة الكافية يستطيع أن يختفى مخلفاً وراءه إلكترونين لهما شحنتين مختلفتين .



(شكل ٢٩)
تجسيد فوتون المسارات الالكترونية منحنية بفعل مجال مغنطيسى ومسار الفوتون ليس مرئياً

وعلى الفور نلمح تفسيراً لكون امتصاص أشعة جاما عالية الطاقة أهم مما تقدره النظرية : فإلى الامتصاص بواسطة الأثر الكهرضوئى فوَ والامتصاص بواسطة أثر كومتون كوَ يجب، إضافة الامتصاص بتكون أزواج بوَ

ويضم الآن التعبير الذى يعطينا مقدار نقص الشدة △ ش ثلاثة حدود بدلا من اثنين △ ش = ش ن ء س (فوَ + كوَ + بوَ)

ولننظر الآن تفسير هذا التجسيد للطاقة فى إطار نظرية ديراك أى بعبارة أدق خلق زوج e^+ ، e^-

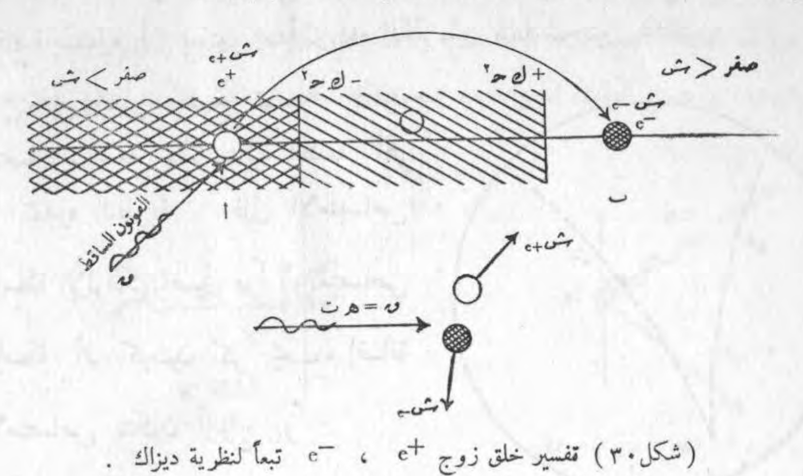
ودعنا لذلك نعود مرة أخرى إلى الصورة التى قدمناها عندئذ (شكل ٣٠).

إن الطاقة التى تناظر كتلة السكون كِ لإلكترون هى تبعاً لعلاقة أينشتين كِ حـ٢ = ٥١٠ كيلو الكترون فولت .

ولكى نخلق إلكترونين يلزمنا من الطاقة على الأقل ٢ ك حـ٢ = ١٫٠٢ مليون إلكترون فولت فإذا كان فوتون يملك طاقة أعلى من ١٫٠٢ مليون إلكترون فولت فإنه يستطيع أن يولد زوجا e^- ، e^+ والفائض من الطاقة سوف نجده على شكل طاقة حركة للإلكترونين ش$_{e-}$ ، ش$_{e+}$.

لقد قلنا فى نظرية الثغرات إن إلكترونا يمكن أن نجرى عليه انتقالا من حالة

طاقة سلبية ا إلى حالة طاقة إيجابية ب متخطياً العائق ٢ ك. حـ٢ الذى كانت تصطدم به النظريات الكلاسيكية التى تتقيد بالتغير المتصل للطاقة . إن الفوتون تختفى فى هذه العملية ويظهر الألكترون وثغرته أى جسيمين .



(شكل ٣٠) تفسير خلق زوج e^+ ، e^- تبعاً لنظرية ديزاك .

ولقد تناول ديراك فى نظريته فوق ذلك تلاشى الإلكترونات الموجبة بالاصطدام بالإلكترونات السالبة المتوفرة بكثرة فى المادة . وينبغى أن تتوقف مدة حياة ضد الإلكترون على الكثافة الإلكترونية للمادة التى تمتص وقد قدرتها النظرية بحوالى ٣ - ١٠$^{-٧}$ من الثانية لوسط مثل الهواء تحت الضغط الجوى ولقد كانت هذه القيمة النظرية متفقة فى التقدير مع التجربة حيث إنها تسمح لبوزيترون سريع كبوزيترونات الأشعة الكونية أن يعبر غرفة ويلسون دون أن يختزل فيها .

وعندما تتناقص سرعته تحت تأثير التصادمات المتعاقبة يستطيع الإلكترون الموجب أن يتلاشى مع إلكترون سالب مولداً فوتونين طاقة كل منهما ٥١٠ كيلو إلكترون فولت أو فوتون واحد طاقته ١,٠٢ مليون إلكترون فولت إذا كانت هناك نواة ذرية لتمتص كمية الحركة المنطلقة .

وقد تم فى نفس هذه السنة ١٩٣٣ إظهار تحول المادة إلى طاقة بعد أن وضح إمكان تجسيد الطاقة (ا ف جوليو كورى - ج . تيبو)

إن طاقة الفوتونات المنطلقة أثناء تلاشى زوج e^+ ، e^- فى شاشة من الرصاص والألومنيوم وجدت حوالى ٥٠٠ كيلو إلكترون فولت وبمعدل ١,٦

لثلاث فوتونات منطلقة للإلكترون الموجب – لقد كان ذلك أول إثبات عملى لصحة معادلة أينشتين ق = ك ج٢ . إن التحول المتبادل للطاقة والمادة قد وضح تماماً فى التجارب التى أشرنا إليها حالا إذ تناظر الكتلة ك لجسم الطاقة ق = ك ج٢ حيث ج هى سرعة الضوء .

وهكذا توضح لنا معادلة اينشتين أنه عندما تختفى المادة أثناء عملية فزيائية ما تنطلق كمية هائلة من الطاقة فالجرام من المادة يمثل ٨,٩٩ – ١٠^٢٠ ارج أى ٢,١ – ١٠^١٣ كالورى وسوف نحصل على هذه الطاقة فى كل مرة نستطيع أن نجعل الكتلة تختفى أى المادة. إن هذا هو ما يحدث عند تلاشى ذلك الضد إلكترون الذى هو الألكترون الموجب وهذا يحدث بطريقة عامة عندما يتلاشى كل ضد جسيم.

وقد استطاع ديراك أن يقول بحق أثناء انعقاد مؤتمر سلفاى عام ١٩٣٣ ببروكسل بمناسبة نظرية البوزيترون «إن الاكتشاف الحديث للإلكترون الموجب قد عاد فلفت الأنظار إلى نظرية أصبحت قديمة الآن حول الحالات السلبية للإلكترون فالنتائج التجريبية التى حصلنا عليها حتى الآن تتفق مع تقديرات تلك النظرية .

ولقد نوقشت فى نفس ذلك المؤتمر مسائل أخرى ينبغى الآن أن نوجه أنظارنا نحوها وهى :

– اكتشاف نووى جديد – النيترون .
– تفسير النشاط الإشعاعى وفرض النيوترينو
– بناء آلات تهدف إلى تعجيل البروتونات .

هل ينضم النيترون – وهو مع البروتون عنصر فى البناء النووى إلى قائمة الجسيمات الأولية مطيعا معادلات ديراك . . ؟ إذا كان الجواب بنعم فإنه سيكون فى وسعنا بعد نجاح الإلكترون الموجب أن نتحدث عن ضد البروتون وضد النيترون .

وسيكون فى وسعنا أن نتحدث عن ذلك ولكنه ينبغى أن ننتظر خطوات التقدم فى تكنيك المعجلات لكى نبحث مسألة خلق هذه الأضداد ومراقبتها فى المعامل . سوف يتعين علينا أن ننتظر حتى عام ١٩٥٥ .

الفصل الثامن

النيترون
النشاط الإشعاعى الصناعى
النيترينو والميزونات

اتجهت الأبحاث الذرية بعد تجربة رذرفورد جنباً إلى جنب مع الأبحاث، التى كانت جارية حول الأشعة الكونية النشطة وحول الامتصاص غير العادى لأشعة جاما وجهة استكشاف نواة الذرة . لقد كنا عام ١٩٣٠ لا نعرف عن النواة إلا قليلا بل الأحرى أن نقول إننا كنا نجهلها تماماً لقد كنا نعرف أن مصدر النشاط الإشعاعى الطبيعى هو داخل النواة ولقد عثرنا فيما يتولد عن هذا النشاط على إلكترونات ولذلك تخيلنا النواة مكونة من بروتونات وإلكترونات . وكان ينبغى أن تتكون نواة الهليوم بهذا الشكل من ٤ بروتونات وإلكترونين أى ستة جسيمات أولية لفها $\frac{1}{2}$.

ولم تكن الميكانيكا الموجية راضية أبداً عن وجود الإلكترونات فى قلب النواة الذرية وكان يشاطرها هذا الرأى لب الحقيقة نفسها إذ أن أبعاد الإلكترونات أكبر من أبعاد النواة .

النيترون . أعاد بوت وبكر فى ألمانيا تجربة رذرفورد فقذف بأشعة الفا الصادرة عن البولونيوم عناصر خفيفة مثل البوروالبريليوم واكتشفا نمطا جديداً من التحول .

فى هذه المرة لم تَقذِف النواة فى الواقع بروتونا بل إشعاعا شديد النفاذ وشدته ضعيفة جداً واستنتج بوت وبكر أن ذلك الإشعاع كهرامغنطيسى فى طبيعته .

وبعد عامين أى فى عام ١٩٣٢ أعاد هذه التجارب شادويك فى إنجلترا و ، ف جوليو كورى فى فرنسا وقد أوضح هذان العالمان أن إشعاع بوت وبكر شديد النفاذ كان له القدرة على أن يقذف بسرعات كبيرة نوى الهيدروجين التى قد تعترض طريقه وعند ذلك أوضح شادويك أن الإشعاع المسئول عن قذف

البروتونات لا بد أن يكون مكوناً من جسيمات متعادلة لها كتل تقارب كتلة البروتون هى النيترونات .

ويمرق النيترون فى المادة دون أن يكشف عن وجوده نظراً لتعادله والحالات الوحيدة التى يفقد فيها قليلا من طاقته هى مروره قريباً من النواة الذرية التى يصيبها وهذه التصادمات نادرة جداً ويستطيع النيترون أن يخترق تخانات هائلة من المادة .

وقرب نهاية ١٩٣٢ كان فى استطاعة النيترون أن يحل محل الإلكترون فى بناء النواة فنواة الهليوم يمكن أن تشتمل إذاً على ٤ جسيمات بدلا من ستة بروتونات ونيترونات وفى هذا الوقت اختفى عدد كبير من الصعوبات ووجدنا تفسيراً للنظائر .

إن نواتان نظيرتان هما نواتان لكل منهما نفس عدد البروتونات Z ولكن لكل منهما أعداداً من النيترونات (ا — Z) مختلفة وغلافيهما الإلكترونيان متشابهان حيث يشمل كل منهما على Z إلكترون تدور حول نواه شحنتها الموجبة Ze ويتبع هذا أن خواصهما الكيمائية واحدة ولكن النوى لأنها لاتحتوى على نفس عدد النيترونات يمكن أن يكون لها خواص نشاط — إشعاعية مختلفة ومن هنا نستطيع أن نصور أى عنصر كان برمزه مع ا س سفلى هو الشحنة Z واس علوى هو عدد الكتلة ا الذى يمثل العدد الكلى لبروتونات ونيترونات النواة .

مثلا كل $^{٣٥}_{١٧}$ ، كل $^{٣٧}_{١٧}$ هما نظائر الكلور المستقران —

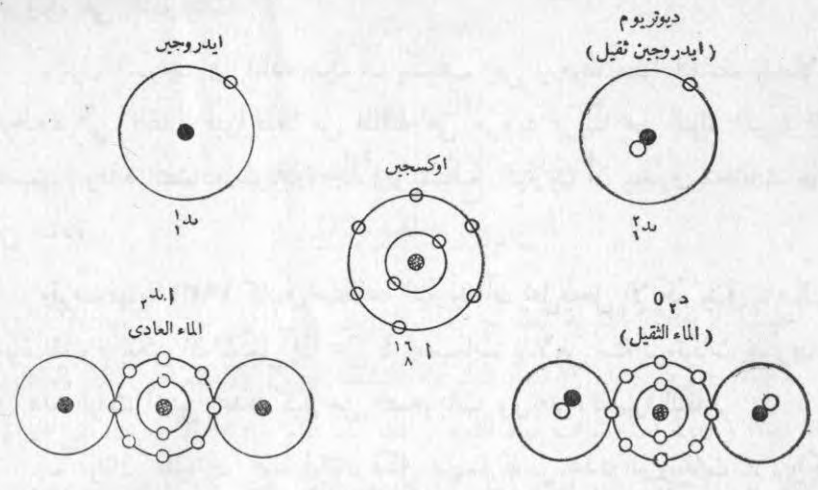
وإذا كان النيترون يفسر النظائر فإن كشف الستار عن إصداره هو نفسه وتحديد كتلته تحديداً دقيقاً قد أثار مشاكل جديدة .

ولذلك استمرت الأبحاث التجريبية وعلى الأخص الدراسة الدقيقة لتجارب تحويل المادة بواسطة الجسيمات الفا .

وفى أثناء هذه الأبحاث لاحظ ا ، ف جوليو كورى أن أجساماً خفيفة معينة : الفلور والألومنيوم والصوديوم تطلق بعد تعرضها الأشعة الفا من البولونيوم إلكترونات موجبة والكترونات سالبة .

واستطاع العالمان عند ذلك توضيح أنه يمكن أن ينطلق بدلا من بروتون نيترونا

وإلكترونا موجبا (الإلكترون الموجب للتحويل المادى) .



(شكل ٣١) نموذج النظائر

« هل كان إذاً ضد الإلكترون مثل الإلكترون أحد مكونات النواة الذرية ؟»
لقد كان تقدير كتلة النيترون من أولى نتائج هذه التجارب وحصل العالمان الفرنسيان على القيمة ١,٠٠٧٩٠ < كن < ١,٠١٠٠

ويسلم العلماء حاليا بأن كن = ١,٠٠٨٩٨ وعلى ذلك تكون كتلة النيترون أعلى قليلا من كتلة البروتون .

وكانت النتيجة الثانية لتجارب ا ، ف جوليو كورى هى اكتشاف النشاط الإشعاعى الصناعى وقد نالا عليه جائزة نوبل عام ١٩٣٥ .

النشاط الإشعاعى الصناعى :

إن إطلاق الإلكترونات الموجبة بواسطة فل ، لو ، ص لم يتوقف بعد أن توقف قذفها بأشعة الفا وكان لهذا الإشعاع المنطلق مميزات الإشعاع بتا فى النشاط الإشعاعى الطبيعى وهو يتناقص سريعا إلى حد ما تبعا للأجسام .

إن القذف بأشعة الفا قد ولد أجساماً جديدة غير مستقرة لم تكن موجودة فى الطبيعة ويؤدى انحلالها على مر الزمن إلى ذرات مستقرة .

ونحن الآن فى وضع يسمح لنا بأن تكتب التفاعلات التى ولدتها جسيمات ألفا أو نوى الهليوم هى $^{٤}_{٢}$.

فتعريض الألومنيوم مثلا للإشعاع يؤدى إلى سلسلة التفاعلات التالية :

ال $^{٢٧}_{١٣}$ + هى $^{٤}_{٢}$ ⟵ فو $^{٣٠}_{١٥}$ + ن ^{١} ↑

والفسفور المكون على هذا النحو كان غير مستقر

فو $^{٣٠}_{١٥}$ ⟵ س $^{٢٤}_{١٤}$ ١٤ + e^{+} ↑

وكانت مدة نشاطه الإشعاعى **٣** دقائق و **٤٥** ثانية .

وفى عام **١٩٣٢** كانت المادة تبدو كما لو كان لها ثلاثة مكونات أولية : الإلكترون والبروتون والنيترون وتتميز باللف $\frac{١}{٢}$ ومن هذا يمكن أن تشملها نظرية ديراك . وإذا كانت الميكانيكا الكماتية تتفق مع هذا البناء الجديد للنواه فالنشاط الإشعاعى بتا لم يكن كذلك . فلم يكن الفزيائيون يرون بوضوح كيف يمكن أن تخرج أشعة بتا أى الإلكترونات من النواة إذا لم تكن فيها من قبل .

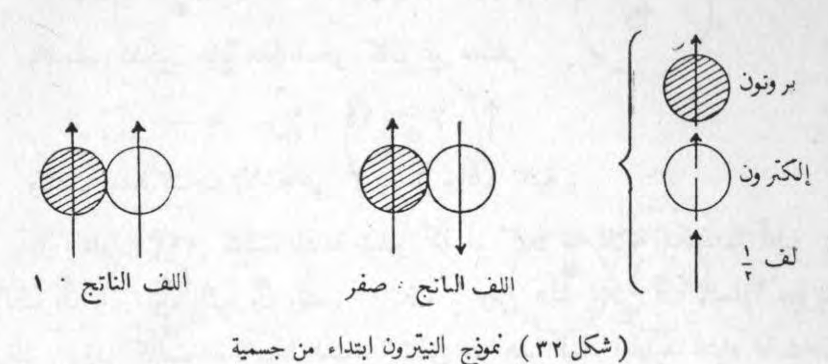
عند ذلك عادت المسألة تقلق بال الباحثين النظريين الذين أخذوا من جديد فى وضع الفروض . لقد تصور البعض أن النيترونات والبروتونات هما حالتين لجسيم واحد : النيكلون وهذا الأخير يمكن أن يخضع لانتقالين يحققان قدراً من التماثل فى النظرية ويجعلانها جذابة .

نيترون ⟵ بروتون + إلكترون سالب

بروتون ⟵ نيترون + إلكترون موجب

ومع ذلك ليست المعادلات آنفة الذكر التى كان يبدو أن اكتشاف النشاط الإشعاعى يؤيدها مرضية من وجهة نظر بقاء اللف لأن نيترونا لفه $\frac{١}{٢}$ سوف يتكون فى هذه الحالة من جسيمين لفهما $\frac{١}{٢}$ مما سوف يترتب عليه أن يكون اللف الناتج صفراً أو ١ وليس $\frac{١}{٢}$. وكان هناك صعوبة أخرى جاءت من ناحية التجربة . فلم يكن مبدأ بقاء الطاقة محترما أثناء الانحلال بتا أو لم يكن الإلكترون الصادر من النواة يحمل كل الطاقة التى اختفت أثناء الانحلال فمثلا تنحل نواة الفوسفور المشع فو $^{٣٢}_{١٥}$ وهو نظير غير مستقر للفوسفور الطبيعى فو $^{٣١}_{١٥}$ وتكون النواة النهائية نواة كبريت

مستقر كب$^{٣٢}_{١٦}$ والفرق فى الطاقة بين الحالتين فو$^{٣٢}_{١٥}$ ، كب$^{٣٢}_{١٦}$ هو حوالى ١,٧ مليون الكترون فولت وعلى ذلك كان علينا أن نتوقع أن يحمل الشعاع بتا هذه الطاقة ولكن الأمر ليس كذلك فالألكترونات التى يشعها الفوسفور المشع لها توزيع متصل من الطاقة بين صفر ، ١,٧ مليون الكترون فولت .



(شكل ٣٢) نموذج النيترون ابتداء من جسمية

النيترينو :

لما كانت الفروض الجريئة واضحة الفائدة لم يتردد الباحثون النظريون فى التطلع إلى وجود جسيم شحنته صفر وكتلته أقل كثيراً من كتلة الإلكترون وهو النيترينو .

لقد بذل الباحثون التجريبيون جهوداً تكنيكية هائلة وأظهروا كثيراً من البراعة لكى يكشفوا عن وجود جسيم متعادل وخال من الكتلة عملياً . ولا نزال حتى اليوم نتابع هذه الجهود ويحاول العلماء أن يروا إذا كان — كما تقدر نظرية ديراك — ضد النيترينو مختلف عن النيترينو .

وهذا يقودنا إلى أن نعدد مميزات الجسيمات الأولية وأن نحدد ما يميزها عن أضداد الجسيمات .

« إن الجسيمات وأضداد الجسيمات لها تبعا لنظرية ديراك طاقات حركة موجبة ومن هذه الزاوية لا تتميز فيما بينها ولكنها تتميز بعد الكتلة بالشحنة والعزم المغنطيسى .

إن المشكلة بسيطة بالنسبة إلى جسيم مشحون (البروتون والإلكترون) فالشحنة

واللف (حركة دوران الجسيم حول نفسه) يجعلان منه مغنطيسيًّا صغيراً يتميز بعزمه المغنطيسى وضد الجسيم سوف يكون له شحنة وعزم مغنطيسى بإشارة عكسية أى سوف تكون الأقطاب معكوسة .

البروتون له الشحنة e^{+} والعزم المغنطيسى $\mu_p = \text{٢,٧٩} \, \frac{\text{ه } e}{\text{٤ ط ك}_p \text{ ج}}$

وسوف يكون لضد البروتون الشحنة e^{-} والعزم المغناطيسى .

$$-\text{٢,٧٩} \, \frac{\text{ه } e}{\text{٤ ط ك}_p \text{ ج}}$$

أما بالنسبة إلى الجسيمات المتعادلة فالمشكلة أكثر دقة لأننا نستطيع أن نتساءل كيف يمكن أن يكون لجسيم خال من الشحنة عزما مغناطيسيًّا وإذا كان هذا العزم المغناطيسى حقًّا صفر كيف تميز إذا الجسيم من ضد الجسيم .

وفى الواقع يمكن أن يكون الجسم متعادلا كهربائيًّا دون أن يكون خالياً من الشحنة يكفى أن تكون هذه الشحنات الموجبة والسالبة لها محصلة مقدارها صفر ويمكن أن ينتج من حركة هذه الشحنات عزم مغناطيسى ليس صفراً وعلى ذلك تتميز الجسيمات وأضداد الجسيمات بعزوم مغناطيسية إشارتها عكسية .

ولقد أمكن تحديد العزم المغناطيسى للنيترون عمليًّا فوجد أنه

$$\mu_n = \text{١,٩١} \, \frac{\text{ه } e}{\text{٤ ط ك}_p \text{ ج}}$$

« ويتجه العزم المغناطيسى لجسيم فى اتجاه موازى للفة وتشير الإشارة — إلى أن العزم المغناطيسى للنيترون يتجه اتجاها عكسيًّا لا تجاه اللف » .

أولا النيترينو له عزم مغناطيسى صفر أو ضعيف جدا وثانياً ضد النيترينو والنيترينو لا يمكن التمييز بينهما فالكتلة لكليهما ضعيفة جدًّا بالنسبة إلى كتلة الإلكترون (.) هى بكل تأكيد أقل من جزء من المائة وقد تبلغ $\text{١٠}^{-\text{٦}}$ ك .

وكل هذه المواصفات تجعل النيترينو كما نرى صعب التمييز ومع ، ذلك فإنه

باعتباره جسيم لفه $\frac{1}{2}$ ينتج لنا إذا أدخلناه فى ظاهرة النشاط الإشعاعى بتا وضعاً تتحقق معه قوانين بقاء اللف والطاقة .

$$\bar{\nu} + e^{-} + P \longleftarrow N$$
$$\nu + e^{+} + N \longleftarrow P$$

وتدخل ضد النيترينو ($\bar{\nu}$) ينتج لنا تماثل أكبر فى نظرية النشاط الإشعاعى بتا

$$e^{-} + P \longleftarrow \nu + N$$
$$e^{+} + N \longleftarrow \bar{\nu} + P$$

فيقابل فى الواقع إطلاق نيترينو امتصاص ضد نيترينو والعكس بالعكس . وتبعاً لهذا التصوير فإنه عند انتقال B^{-} الذى يحقق تحول نواه (ا، Z) إلى نواه (ا، Z + ١) يتحول نيترون من النواة الأصلية ممتصا نيترينو إلى بروتون مع إطلاق إلكترون سالب «من هذه الزاوية نرى نيترونات وبروتونات فى النواه وهى تمتص وترسل جسيمات خفيفة (إلكترون – نيترينو) وتتبادل فيما بينها » وهنا نقترب من مشكلة كانت تشغل بشكل قوى إبان تكوين نظرية النشاط الإشعاعى خواطر الباحثين النظريين .

لقد كانت تلك المشكلة هى ما يلى :

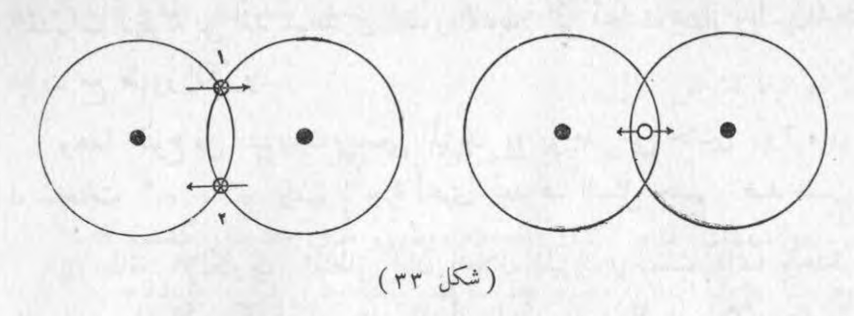
كيف نفسر التماسك بين بروتونات ونيترونات يضمها حيز صغير باتساع حجم النواه بينما قوى التنافر الاستاتيكى بين بروتونين مثلا تكون هائلة فى تلك المسافات . .؟

إن القوى الكلولومبية لم تكن تتيح لنا تفسير تماسك النيكلونات فى النواة لقد استلزم الأمر إدخال قوى ربط من طبيعة جديدة .

لقد كان لدى الفزيائيون أمثلة على المستوى الذرى حقيقية ولكنها كانت تفتح أمامنا آفاقاً جديدة أعنى بذلك على الأخص بناء جزئ الأيدروجين عندتأينه (يد$_{٢}^{+}$)

إن لجزئ الأيدروجين يد ٢ التشكيل التالى : (شكل ٣٣) حيث يكون لفا الإلكترونين غير متوازيين والمجموعة التى تتكون على هذا النحو مستقرة تستطيع الميكانيكا الموجيه ابتداء من دوال الموجبة $\Psi_{١}$ ، $\Psi_{٢}$ أن تقرر هذا الاستقرار .

وعندما ينتزع من مثل هذا الجزىء إلكترونا يصبح أيونا موجبا ولا يتبقى إلا إلكترونا يتضمن. استقرار البناء وعند ذلك نتخيله متأرجحا من بروتون لآخر رابطا إياهما بهذا الشكل على الرغم من تنافرهما الكهراستاتيكى .



(شكل ٣٣)

لقد كان العلماء يتخيلون مثل هذه التبادلات لكى يفسروا ترابط النيكلونات فى داخل الذرة وكانوا يظنون أن النيترينو والإلكترون يمكن أن يحققا ذلك .

وعلى أساس هذا الفرض كان ممكنا القيام بحساب قطر النواه ولقد أدى ذلك إلى قيمة أكبر كثيراً مما ينبغى وعلى ذلك كان لزاماً أن نلجأ إلى فروض أخرى فلما وضعناها قادتنا إلى جمهرة من الجسيمات الجديدة تضم دون شك أضداد جسيمات ويطلق عليها الاسم العام « الميزونات » .

ولقد غزت الميزونات منذ ذلك الحين فزياء الجسيمات إنها بكل تأكيد المسئول الرئيسى عن القوى النووية ولقد نالت هذه الأعوام الأخيرة أهمية بالغة وينبغى علينا إذاً أن نتحقق بدقة من مميزات هذه العناصر الجديدة من مكونات المادة .

الميزونات :

عندما وضع الفزيائى اليابانى يوكاوا عام **١٩٣٥** فرض تبادل الميزونات بين النيكلونات فى النواة استطاع إيضاح كتلة ومدة حياة هذه الجسيمات الجديدة الضرورية لتفسير استقرار النوى الذرية ولكى تتفق الميزونات مع الأبعاد النووية وجب أن يكون لها كتلة تبلغ ٢٠٠ ضعف كتلة الإلكترون ويجب أن تكون مدة حياتها قصيرة جداً فى حدود جزء من مليون من الثانية (μ ث = ١٠$^{-٦}$ ث) .

« وفى عام **١٩٣٧** جاءت التجربة مؤيدة وجود هذا الجسيم الافتراضى

إن دراسة الأشعة الكونية التى كشفت عن وجود الإلكترونات الموجبة لديراك قد كشفت بعد ذلك عن وجود ميزونات يوكاوا » . لقد كانت كتلة أول ميزون استطعنا التحقق منه حوالى ٢١٠ مرة كتلة الإلكترون (٢١٠ ك$_e$) وتحققت التقديرات النظرية بل لقد شوهد فى الصور العديدة التى أخذت بجهاز ويلسون انحلال ميزون مع ظهور إلكترون .

وهذا النوع من الميزونات ويسمى الميزون μ يوجد على حالتين μ^+ ، μ^- له شحنات e^+ ، e^- ولف $\frac{1}{2}$ ومرة أخرى تجد هنا التمثل جسيم — ضد جسيم .

إن طاقة الإلكترون المنطلق إبان انحلال الميزون μ ليست دائماً واحدة . ولقد فسر هذا الأمر كما لو كان يشير إلى أن الميزون μ يتحلل إلى ثلاث جسيمات تبعاً للنمط التالى من التفاعل :

$$^{+}e + \nu + \nu \longleftarrow {}^{+}N$$

$$^{-}e + \bar{\nu} + \nu \longleftarrow {}^{-}N$$

ومتوسط حياة الميزون μ هى ٢,١٥ × ١٠$^{-١}$ ثانية ويتولد هو نفسه من انحلال نوع آخر من الميزونات (الميزون Π) وإن كان قد اكتشف بعد الميزون μ فهو الميزون الحقيقى ليوكاوا . ودوره هام جداً فى تفسير القوى النووية .

والميزونات Π وكتلتها ٢٧٥ ك$_e$ توجد على حالات ثلاث : Π^+ ، Π^- ، $\Pi^{\text{صفر}}$ (وهو ميزون متعادل) وهناك تماثل تام بين Π^+ ، Π^- اللذان يبلغ متوسط حياتهما ٢,٥ × ١٠$^{-٨}$ ثانية وللميزون $\Pi^{\text{صفر}}$ كتلة أقل قليلا (٢٦٥ك$_e$) ومتوسط حياة أقصر كثيراً (١٠$^{-١٥}$ ثانية) ويبدو أن الميزونات Π لها لف صفر الذى يستبعدها من فصيلة الجسيمات ذات اللف $\frac{1}{2}$ التى تطيع معادلة من نوع معادلة ديراك .

والميزون Π هو إذاً المسئول عن قوى الربط التى تربط فى النواة البروتونات والنيترونات .

وسنحصل على الصور التالية عند ذلك :

$$+\Pi + N \leftrightarrows P \quad (١) \qquad {}^{-}\Pi + P \rightleftarrows N \quad (٢)$$

$$^{\text{صفر}}\Pi + P \leftrightarrows P \quad (٣) \qquad {}^{\text{صفر}}\Pi + N \leftrightarrows N \quad (٤)$$

لقد كانت الأشعة الكونية عند بداية هذه الأبحاث عن الميزونات هى المصدر الوحيد الذى نعرفه لهذه الجسيمات الجديدة . وكانت تدرس أساساً بوساطة طريقة غرفة ويلسون — ولكن نظرية يوكاوا كانت تقدر مع ذلك أن الميزونات يمكن أن تتولد أثناء تصادم بين نكلونين عاليا الطاقة جداً لقد كان مقدراً لهذه العملية أن تتم تبعا للشكل التالى :

$$\Pi + N_٢ +_١ N \leftarrow N_٢ + N_١$$

«ولقد كان تقدم تكنيك المعجلات وظهور طرق جديدة للكشف كفيلاً بأن يوفر لنا مؤيداً النظرية مصادر جديدة للميزونات وطرق دراسة جديدة » .

واكتشفنا عندئذ ميزونات ثقيلة أو الهيبرونات وسرعان ما كانت طوع بناننا الطاقة اللازمة لخلق ضد النيكليونات .

الفصل التاسع

معجلات الجسيمات
وفزياء الطاقات العالية

كان فى جدول أعمال مؤتمر سلفاى١٩٣٣ بجانب أبحاث البوزيترون وأضداد الجسيمات – النيترون ومكونات النواة – النيترينو وبناء النواة الذرية – بحث عن « انحلال العناصر بوساطة بروتونات معجلة » . وكان مؤلف هذا البحث بعد أن لفت الأنظار إلى أنه تبعًا لمبادئ الميكانيكا الموجية لم تعد الجسيمات تحتاج إلى طاقة كبيرة جدًّا حتى تنفذ فى النواة قد ذكر ما يلى على الأخص :

« إن نجاح تجارب الانحلال الصناعية تحتم عموما توليد تيار مستمر من الجسيمات السريعة ولقد استخدمت وسائل متنوعة جدًّا لبلوغ ذلك ولكنها جميعا صادفت عقبات تكنيكية هائلة .

وهكذا كان الفزيائيون على أيام ديراك يناقشون وجود أضداد الجسيمات ويبحثون عن وسائل : تعجيل الجسيمات المكهربة الموجودة فى ذلك الحين بقصد استخدامها كقذائف تحطم نواة الذرة .

لقد عجل كوكرفت ووالتون البروتونات فى مجال كهربائى استاتيكى يبلغ عدة مئات من الكليوفلتات وحصلا على أول انحلال صناعى باستخدام الجسيمات المعجلة . لقد كان ذلك الانحلال نواه الليثيوم إلى جسمين الفا .

$$\text{لى}_{٣}^{٧} + \text{يد}_{١}^{١} \longrightarrow ٢\,\text{هـ}_{٢}^{٤}$$

ولقد نبت إبان ذلك المؤتمر فى عام ١٩٣٣ فرع جديد للفزياء حيث عرض كوكرفت ووالتون أول نتائجهما أمام رذرفورد أبو تحويل العناصر وأمام ا. لورانس الذى شيد فى بركلى معجلا يقوم على مبدأ لم يسبقه إليه أحد هو السيكلوترون .

لقد كانت الفزياء بعون هذه الآلات الجديدة وشيكة أن تحقق نجاحا هائلا .

لقد كنا بفضل المعجلات على أعتاب الزحف من نصر إلى نصر ومن اكتشاف جديد إلى اكتشاف جديد آخر وأن نستمتع بالمسيرة الكبرى مع التفاعلات النووية كما سبق لنا مع التفاعلات الكيميائية . وتستمر هذه التجربة المثيرة حتى اليوم حيث نستخدم وسائل تكنيكية هائلة فى بناء معجلات تزيد قوتها يوما بعد يوم .

ولذلك نرى أنه من الضرورى أن نقدم هنا بعض التوضيحات عن الأنواع الأساسية من معجلات الجسيمات لأنها هى التى سمحت لنا بتوليد الميزونات عام ١٩٤٧ وضد البروتون عام ١٩٥٥ وضد النيترون عام ١٩٥٦ .

المبادئ الأساسية

عندما يوضع جسيم مشحون فى مجال كهربائى فإنه يتحرك بعجلة .

وعلى ذلك يجب علينا أولا أن نحصل على مصدر من الجسيمات المشحونة (إيونات) .

— نحصل على البروتونات بتأين الهيدروجين .

— والديتونات بتأين الديتوريوم أو الهيدروجين الثقيل .

— وجسيمات الفا أو الهليونات بتأين الهليوم .

وسوف يضم كل معجل إذاً مصدراً للأيونات أى غرفة ندخل إليها الغاز (الأيدروجين أو الهليوم) تحت ضغط ضعيف جدا (١٠$^{-3}$ ، ١٠$^{-4}$ سم من الزئبق) حيث يتأين .

وتقذف بعد ذلك الجسيمات المشحونة المتولدة عن عملية التأين فى جهاز التعجيل حيث يسود تفريغ شديد (١٠$^{-6}$ ، ١٠$^{-7}$ سم من الزئبق) وعند الخروج من هذا الأخير تتميز حزمة الجسيمات المعجلة بشدتها وبطاقة الجسيمات وكون طاقة الحزمة مقدرة بغاية الدقة .

المعجلات الكهرواستاتيكية

إن المعجلات الكهرواستاتيكية من نوع فان دى جراف تمدنا بحزمة جسيمات (بروتونات أوديتونات) شدتها مستمرة وطاقتها محددة تماماً فتبلغ دقتها حدود الجزء من عشرة آلاف .

ومبدأ المعجلات المستقيمة بسيط بوجه خاص إن جسيما شحنته Ze يقطع المسافة التى تفصل بين قطبين فرق الجهد بينهما قدره ف فولت يتسلم طاقة مقدارها ف Ze إلكترون فولت .

لقد كان جهاز كوكرفت والتون فى معمل كافندش بجامعة كامبردج من هذا النوع : — ولقد حصلا على تعجيل البروتونات باستخدام ضغط كهربائى مرتفع (٢٠٠ ك . ف) على مجموعة من الأقطاب .

ويغذى فى معجل من نوع فان دى جراف ضغط عال موضوع عند القاعدة مشط وهذا المشط يودع على سير يتهادى أمامه شحنات كهربائية تنتقل بهذا الشكل نحو الجزء الأعلى من الجهاز حيث يجمعها مشط جامع .

وهكذا نخلق بين القاعدة والجزء الأعلى من الأنبوبة المعجلة فرق فى الجهد ف لا تحده إلا ظروف العزل وحدها .

السيكلوترون

تتعجل الجسيمات المشحونة فى هذا الجهاز (وهو من إبداع ا . لورانس) الصادرة من مصادر الأيونات على فترات صغيرة متعددة أثناء التفافها فى مدارات لولبية .

وتحصل على هذا الالتفاف بتأثير مجال مغناطيسى ثابت يقود بشكل ما الجسيمات أثناء تعجيلها .

ويتحقق هذا عن طريق مجال كهربائى عالى التردد يوصل بصندوقين معدنيين

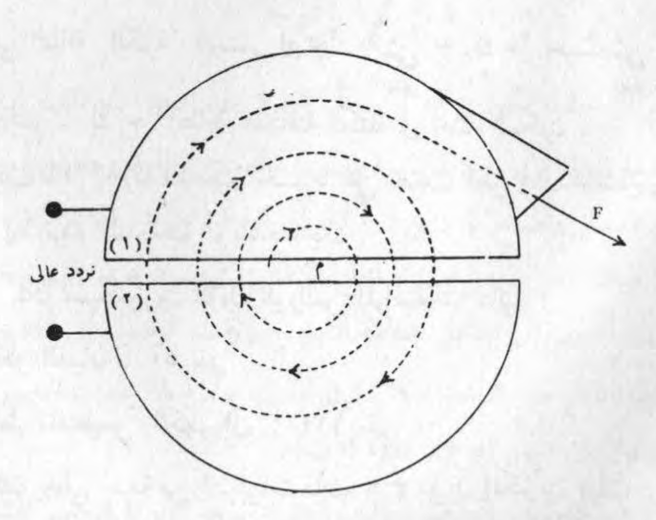
نصف دائريين (الفلقتين) وتتعجل الجسيمات التى تقطع فيهما مساراً دائريا مرتين كل دورة عندما تعبر المسافة التى تفصل القطبين ويمكن أن تعاد هذه العملية عدة مئات من المرات الأمر الذى يتيح لنا الحصول على أيونات سريعة جداً مع أننا لا نستخدم إلا جهوداً ضعيفة نسبياً .

ويمدنا السيكلوترون بحزمة من الجسيمات (بروتونات وديتونات وجسيمات الفا) لها طاقات حركة كبيرة يمكن أن تصل فى حالة الديتونات إلى ٢٥ مليون الكترون فولت .

إن جسيما كتلته ك وشحنته ش Ze وسرعته $\vec{ع}$ يقطع فى مجال مغناطيسى $\vec{H}$ يتجه عمودياً على ع مساراً دائرياً نصف قطره نق

ونحصل على مقدار نصف قطر المسار إذا ذكرنا أنه على هذا المسار توازن قوة لورنتز قوة الطرد المركزى .

$$F_{\text{ل}} = \frac{\text{ش ع } H}{\text{جـ}} \quad ، \quad F_{\text{جـ}} = \frac{\text{ك ع}^{2}}{\text{نق}} \quad \text{ومنه} \quad \frac{\text{ك ع}}{\text{نق}} = \frac{\text{ش } H}{\text{جـ}} \quad ، \quad \frac{\text{نق}}{\text{ع}} = \frac{\text{ك جـ}}{\text{ش } H}$$



(شكل ٣٤) سيكلوترون

م – مصدر الأيونات ١ ، ٢ الفلقتين F حزمة الجسيمات المعجلة المجال المغنطيسى عمودى على على مستوى الرسم .

ولما كانت مدة دوران الجسيمات المشحونة فى المجال المغنطيسى هى :

$$ز = ٢ ط ق / ع = ٢ ط \frac{ك ح}{ش H}$$

نرى أنها مستقلة عن سرعة الجسيم بشرط عدم تدخل الكتلة النسبية إنما الذى يؤثر عند ذلك هو الكتلة وشحنة الجسيم المعجل وشدة المجال المغنطيسى ويمكن إذاً جعل زمن الدوره الواحدة مساوياً لزمن ذبذبة الجهد عالى التردد .

فإذا جعلت $\frac{ع}{ق}$ = ع وهى نبضة التردد العالى نستطيع أن نكتب العلاقة السابقة على هذا النحو .

$$ك ج^{٢} = \frac{ش H ج^{٢}}{ع} = \frac{ش H ق ح}{ع / ج}$$

حيث ك هى الكتلة النسبية ك = ك. $/ \sqrt{١ - \frac{ع^{٢}}{ج^{٢}}}$ وتعلم أن ك ج^{٢} هى الطاقة الكلية للجسيم ك ج^{٢} = ش$_{اينش}$ + ك ج^{٢} حيث ش$_{اينش}$ هى طاقة الحركة للجسيم ، ك ج^{٢} الطاقة المكافئة للكتلة فى حالة السكون .

وسوف تتوقف طاقة الحركة القصوى لجسيم ما على نصف قطر المجال المغنطيسى وواحد من اثنين إما تردد المتذبذب أو شدة المجال .

ولقد كان للسيكلوترون الأول للورانس المواصفات التالية :

– قطر القطبان : ٥٠ سم

– قطر المغنطيس الكهربائى : ١١٤ سم

– كان يعطى حزمة من الديتونات ذات ٣٫٦ مليون إلكترون فولت .

وينحصر عموما المجال المغناطيسى H لسيكلوترون بين ٥٠٠٠ ، ١٥٠٠٠ جاوس وعندما تكون H ثابتة تتوقف طاقة الجسيم على شحنته وعلى نصف القطر ىق للمدار الأكبر وعندما تكون H = ١٠٠٠٠ = جاوس ونق ٥٠ سم نحصل على

ديتونات طاقتها ٦ مليون إلكترون فولت وبروتونات طاقتها ١٢ مليون إلكترون فولت وعندما تكون H = ١٣٠٠٠ جاوس وثق = ٢٥٠ سم يكون لهذين الجسيمين طاقات ٢٣٨ مليون إلكترون فولت ، ٤١٥ مليون إلكترون فولت على التوالى . وعندما نبلغ مثل هذه الطاقات لايعد التغير النسبى للكتلة مما يمكن إهماله وعلى ذلك وجب البحث عن وسائل تعويض للحصول على هذه الطاقات بل للحصول على طاقات أخرى أعلى منها .

سيشكرو سيكلوترون (السيكلوترون الموقت)

لقد كانت العلاقة البسيطة $\text{نق} = \frac{\text{ك ع}}{\text{ش} \, H} \gamma = \frac{١}{\sqrt{١ - \frac{\text{ع}^2}{\text{ج}^2}}}$

تعطينا نصف قطر مدار الجسيم المعجل فى السيكلوترون . والزمن الذى يستغرقه قطع هذا المدار $\text{ز} = \frac{٢ \, \text{ط نق}}{\text{ع}} = \frac{٢ \text{ط ك} \, \gamma}{\text{ش} \, H}$

وفى حالة السرعات غير النسبية ع الصغيرة بالنسبة إلى سرعة الضوء يكون لدينا

$$\gamma = ١ \Big/ \sqrt{\frac{\text{ع}^2}{\text{ج}^2}} = ١$$

وهذا يتيح لنا عندما تكون ز = ثابت أن نحصل على تردد ت ثابت أيضا.

وعندما نصل إلى سرعات نسبية يصبح الحد γ دالة لسرعة الجسيم أى نصف القطر نق للمسار وتصبح γ (نق) أكبر من الوحدة وتزيد بدلالة الزمن الأمر الذى يؤدى إلى زيادة زمن بقاء الجسيم داخل الفلقتين . ويتولد عند ذلك تأخير معين بين وقت وصول الجسيم إلى مدخل منطقة التعجيل ووقت الوصول إلى أقصى جهد .

وعندما يناظر هذا التأخير ٩٠° يكون الجهد صفراً ولا يحدث للجسيم أى تعجيل ويدور عندئذ فى مسار نصف قطرة ثابت .

« وفى السيكلوترون الموقوت يعوض نقص السرعة الزاوية للجسيم المشحون بنقص مناظر فى تردد الجهد الواصل إلى الفلقتين» وعملية توفيق التردد هذه إذا كانت تتيح لنا الحصول على طاقات عالية تعطينا حزمة من الجسيمات لم تعد شدتها ثابتة فالتيارات

التى نحصل عليها نبضية وهى فى حدود الميكروأمبير .

والسيكلوترون الموقوت الذى تم بناؤه فى بركلى عام ١٩٤٦ يعطى حزمة من الديتونات ذات ٢٠٠ مليون إلكترون فولت وجسيمات الفاذات ٤٠٠ م ١٠ . ف وهو جهاز ملفت جداً للأنظار يحتوى على ٣٥٠٠ طن من الصلب .

البيتاترون

هذا الجهاز لا يضم مجالا كهربائياً عالى التردد إنما يستغل فيه كون المجال المغنطيسى H المتغير يخلق مجالا كهربائياً E يحث هو نفسة مجالا مغنطيسياً H يميل إلى مقاومة تغير H ومنطقة التعجيل على هيأة حلقة موضوعة بين قطبى مغنطيس كهربائى والتشكيل الجانبى للقطبين يضمن استقرار مسار الجسيم المكهرب ويناسب هذا الجهاز بشكل خاص تعجيل إلكترونات وهى تقذف داخل البيتاترون بطاقة مقدارها ٦٠ كيلو إلكترون فولت على المدار الذى ينبغى أن تقطعه والذى تعجل عليه بوساطة المجال الكهربائى المحث واصطدامها بهدف يصحبه ظهور أشعة جاما عالية الطاقة يمكن استخدامها فى نفس الوقت مع الجسيمات المادية لتحطيم النوى (التفاعلات الضوئية النووية) .

والطاقة الممكن الحصول عليها بهذا الجهاز يحدها نصف قطر المسار وأقصى شدة يبلغها المجال المغنطيسى فى مكان المسار .

ويمكن أن يمدنا البتاترون بإلكترونات ذات ٢٥م—.ا. ف ويبلغ وزن ذلك الجهاز خمسة أطنان ونصف قطر مداره ٢٠ سم والمجال المغناطيسى فيه هو ٤٠٠٠ جاوس .

السنكروتون

شكل المغنطيس الكهربائى فى السنكروتون حلقى كما فى البيتاترون وجهاز التعجيل كما فى السيكلوترون يتكون من عدد ن من الأقطاب المعجلة يغذيها مجال كهربائى متغير ومدار الجسيمات المعجلة يظل مستقراً بالنسبة إلى نصف قطر متوسط

(نق) بأن نجعل المجال H والتردد يتغيران أثناء التعجيل» وتتجمع الجسيمات فى حزمة تتسلم فى كل دورة ن دفعات معجلة » .

ويجب أن تمر الجسيمات المشحونة المتولدة من مصدر الأيونات من قبل فى مجموعة الكتروستاتيكية توصل إليها طاقة معينة قبل حقنها فى مدارها فى الدائرة المعجلة فى اللحظة المناسبة .

وفى سنكروتون ذى إلكترونات تعجل هذه الإلكترونات أولا بواسطة بيتاترون وتحمل إلى سرعة تقرب من سرعة الضوء وهكذا تحقن هذه الإلكترونات فى السنكروتون بطاقة تبلغ ٢ م . ا. ف .

ويزن سنكروتون جامعة كورنل ٧٣٨ طناً ويبلغ نصف قطر المدار حوالى متر وطاقة الإلكترونات عند الهدف ٣٠٠ م . ا. ف .

وفى سنكروتون البروتونات يتولى معجل من نوع فان دى جراف التعجيل المبدى ويتم حقن البروتونات فى الآلة عندئذ بطاقة تتراوح بين ٣ ، ١٠ م . ا. ف .

ومواصفات مثل هذا المعجل مذهلة حقاً .

- ١٦٥٠ طن صلب
- ٧٠ طن نحاس
- أقصى تيار فى العدسات المغناطيسية ٧٠٠٠ أ°
- نصف قطر المدار ١٠ م
- طاقة البروتونات عند نهاية السيكروتون ٣ مليار إلكترون فولت .

وهذه المميزات هى مواصفات كوزموترون بروكهافن وقد فاقتها مميزات بيفاترون بركلى الذى يمدنا ببروتونات طاقتها ٦,٢ مليار إلكترون فولت .

إننا نرى أننا قد تجاوزنا كثيراً نماذج المعجلات التى قدمها كوكرفت ولورانس عام ١٩٣٣ فقد قطعنا بعدها شوطا بعيداً ولكن الفزيائيين مع ذلك لم يستنفذوا بعد كل الإمكانيات التى يوفرها امتلاك الآلات ذات القدرة الصغيرة .

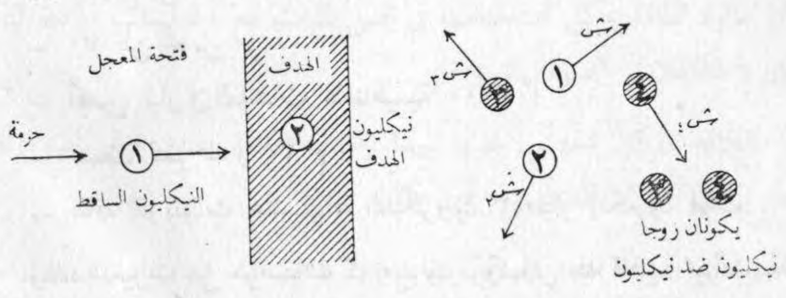
لماذا إذاً هذا التسابق نحو الطاقة العالية . . .؟

إن كتلة السكون لإلكترون تمثل طاقة مقدارها ٠,٥١٠ م. ا. ف. ولكى

نتمكن من خلق زوج من e^+ ، e^- يجب أن يكون لدينا ١,٠٢ م.ا.ف. ومثل هذه الطاقة كانت متوفرة فى الأشعة الكونية وفى أشعة بعض الأجسام المشعة وعلى ذلك أمكن مشاهدة وجود ضد الإلكترون وأمكن خلق أزواج $e+$ ، $e-$ فى المعامل .

أما الميزونات وكتلتها ٢٠٠ مرة ضعف كتلة الإلكترون فإنها تستوجب لكى يمكن خلقها أزواجا طاقة مقدارها ٢٠٠ م.ا.ف .

فى عام ١٩٣٧ كانت الأشعة الكونية وحدها هى التى تملك طاقات بهذا القدر إذ لم تكن طاقة السيكلوترونات تتعدى ٢٠ م . ا. ف وعلى ذلك اقتصرت مشاهدة واكتشاف الميزونات على الأشعة الكونية التى كانت المصدر الوحيد للميزونات وظل الأمر هكذا إلى اليوم الذى أتاح لنا السيكلوترون المارد فى بركلى بلوغ طاقات تكفى لخلقها . فى ذلك اليوم شوهد وجود الميزونات على مقربة من المعجل وسوف نعود مرة أخرى إلى هذه النقطة ولكننا فى ذلك اليوم حصلنا على تأكيد بأننا عندما تتوفر لنا الطاقة الكافية سوف نستطيع توليد النيكلونات وربما خلقها أزواجا إذا كانت فكرة أضداد الجسيمات تمتد إلى النيكلونات والنيترونات كما تقدر نظرية ديراك .



(شكل ٣٥) خلق ضد النيكليونات أثناء تصادم بين نيكليونين .

ولما كانت كتلة البروتون ١٨٤٠ ضعف كتلة الإلكترون استلزمنا خلق هذا النيكليون ٩٣٨ م . ا. ف. و ١٨٧٦ م.ا.ف. أى قرابة مليارين لخلق زوج من النيكلونات .

وهذه الطاقة يجب أن تنتج من تصادم نكليونين أحدهما متولد من المعجل بطاقة حركة ش. وبعد التصادم يكون للنيكليون الساقط طاقة حركة ش١ بينما

النيكليون الهدف يقذف بطاقة حركة **ش**$_{٢}$ ويكون للنيكلونين المتولدين الطاقة **ش**$_{٣}$ ، **ش**$_{٤}$ فى حين يلزم لخلقهما حوالى **٢** مليار إلكترون فولت

إن التفاعل التالى يمكن تصويره :

$$\bar{P} + P_{٣} \leftarrow P + P$$

ويمكن عند ذلك وضع التعبير التالى معبراً عن بقاء الطاقة بين الحالة قبل التصادم وبعده ش$_{٠}$ = **٢** مليار ا. ف. + **ش**$_{١}$ + **ش**$_{٢}$ + **ش**$_{٣}$ + **ش**$_{٤}$

« وهذا التعبير يوضح أنه يجب أن تكون **ش**$_{٠}$ = ٦ مليار ا. ف تقريباً حتى تكفى لخلق زوج من النيكلونات وعندما نبلغ هذه الطاقة سوف نستطيع أن نخلق أضداد جسيمات جديدة وأن نتحقق من صحة نظرية وربما أيضا مشاهده ظواهر جديدة » .

لماذا كل هذا التسابق نحو الطاقة العالية . . . . : : ؟ ولماذا هذه **الإنشاءات** الضخمة ؟ . كل هذه الأطنان من الخرسانة والصلب . . . . ؟ ولماذا كان إنفاق هذه المليارات وهذا التجنيد لكل المهن وكل التكنيكات . . . ؟

كل هذا لكى نتبين هل كان ديراك على حق عندما كتب فى بحثه فى **٢٩** مايو عام **١٩٣١** : ــ« ربما كان للنيترونات حالاتها الخاصة من الطاقة السلبية كلها مشغولة عادة والحالة غير المشغولة هى التى تبدو كما لو كانت ضد البروتون » .

الفصل العاشر

توليد ضد النيكلونات

بينما كانت المعجلات الجبارة تبنى كان أخصائيو الأشعة الكونية يتابعون أبحاثهم بإمكانيات متزايدة باستعمال التكنيك الجديد للألواح النووية . وإذا كانت الأحداث المشاهدة هنا شحيحة فالطاقات التى تدخل فى العمليات الكونية غالباً ضخمة .

وفى عام ١٩٤٧ ذكر باحثون وجود ظواهر غير عادية فى الألواح المعرضة للأشعة الكونية وكانت هذه الظواهر تتكون من انطلاق ضخم من الطاقة إثر توقف جسيم كونى مؤين فى المادة. وبعد سبعة أعوام تكلم هؤلاء حتى عن مثال ممكن لتلاشى جسيم ثقيل وكان هذا الكشف قد تم فى حجرة ويلسون تحتوى إحدى عشر لوحا من الشبه سمك ١٢ سم .

« لقد قادت دراسة معدل طاقة الآثار التى شوهدت أخصائيو الأشعة الكونية إلى اعتبار عملية تلاشى ضد بروتون أو ضد هيبرون عملية ممكنة » .

وربما شوهد ضد البروتون لأول مرة كما حدث للألكترون المواجب فى الأشعة الكونية ولكن البروتون السالب كان مثل الإلكترون الموجب على وشك أن يتم خلقه حسب الطلب داخل المعمل .

ولكى نشاهد خلق ضد النيكليونات سوف يتحتم علينا أن نعود إلى المعامل وأن نستأنف الزيارة التى بدأناها. حوالى ١٩٣٠ — ١٩٣٢ حين كان الباحثون يعيدون تجربة رذرفورد ويدرسون امتصاص أشعة عالية الطاقة فى ذلك الحين كنا نعنى بالطاقة العالية طاقة أعلى من م. ا. ف. قليلا . ولكن المستوى ارتفع خلال عشرين عاماً وأصبحنا نقصد اليوم بالطاقة العالية طاقة تزيد على مليار إلكترون فولت .

كل شىء قد تغير حتى المعامل نفسها قد تغيرت . فأصبح البعض منها مصانع حقيقية يعمل فيها فريق ضخم من الأخصائيين وسوف نتلكأ قليلا فى معمل ضخم خصوصا حول معجلاته القوية .

إن الباحثين التجريبيين يستخدمون حول هذه الآلات الجبارة رهطاً من أجهزة

الكشف تضيع جهودنا عبثا إذا بحثنا فيها عن الإلكترسكوب وغرفة ويلسون وعداد جيجر فقد فات أوانها جميعاً . لقد مرت عشرون عاما وتقدمت وسائل الكشف هى الأخرى تقدماً عظيما والتجربة تتطلب اليوم أكثر منها بالأمس تحضيراً وافياً ووقتا طويلا .

ولذلك دعنا نترك جانباً الفزيائيين والفنيين يستعدون لتجاربهم وهلم نختبر سريعاً وسائل الكشف التى سوف نتكلم عنها لحظة .

١ — وسيلة الألواح .

٢ — العدادات ذات الومضات .

٣ — عدادات شيرينكوف .

١ — تكنيك الألواح النووية :

خذ مستحلبا فوتوغرافياً يتكون من مخلوط من البلورات الدقيقة لبرومور الفضة والجلاتين وضعه على لوح من الزجاج .

عندما يعبر جسيم مشحون المستحلب يفقد فيه كمية معينة من الطاقة وهى تغير بلورات برومور الفضة التى تعترض مسارها ويمكن جعل حبات الفضة التى تتكون عند ذلك فى داخل البلورة منظورة وذلك بإظهار المستحلب (التحميض) وإذا كانت تلك الحبات متقاربة بدرجة كافية (وهذا يتوقف على الطاقة الموزعة على وحدة المسار) فإنها تكوّن خطاً مستمراً تقريباً يجسد مسار الجسيم فى المستحلب .

وإذا عرفنا طول المسار استنتجنا طاقة الجسيم . ومن عد عدد الحبات فى وحدة الطول (الميكرون) نستطيع أن نستنتج قيمة كتلة الجسيم .

ولقد نال تكنيك الألواح فى هذه السنوات الأخيرة تقدماً بالغاً فى مجال الأشعة الكونية وفزياء الميزونات .

٢ — العدادات ذات الومضات :

يتضمن عداد ذو ومضات أساساً من جزأين : بلورة يودور الصوديوم (أو مادة أخرى شفافة) حيث تتولد ظواهر التأين التى تلى امتصاص جسيم أو أشعة γ ثم المضاعف

الضوئى الذى يلعب دور خلية كهراضوئية محولا الإشعاع الضوئى للبلورة إلى تيار كهربائى يتيح لنا الكشف .

عندما يتحرك جسيم مؤين فى البلورة فإنه سوف يثير اضطرابـًا فى الطبقات الإلكترونية للذرات وإعادة ترتيب هذه الأخيرة أى عودتها إلى تشكيل مستقر يصحبه إصدار ضوء وينتج عن هذا تتابعـًا من الومضات بطول مسار الجسيم فى البلورة وهذا الضوء الذى تتناسب شدته مع الطاقة المتناثرة من الجسيم أثناء امتصاصه يتنقل فى داخل البلورة محميا من الضوء الخارجى ويقع على الطبقة الحساسة من المضاعف الضوئى الذى تنتزع فيه إلكترونات تعجل بواسطة جهد مستمر وتضاعف بواسطة ترتيب أقطاب خاصة (ثنائية الأقطاب) يتزايد جهدها .

وعند نهاية المضاعف الضوئى بعد تكبير مداه من 10^{6} – 10^{9} نحصل على شحنة كهربائية معينة تتناسب دائمـًا مع طاقة الجسيم الذى امتصته البلورة . وعلى ذلك يمتاز العداد ذو الومضات على عداد جيجر مولر بأنه يمدنا بمعلومات قيمة عن طاقة الظاهرة المؤينة كما أنه يكشف عن وجودها فى نفس الوقت .

٣ – عداد شيرينكوف :

عندما يعبر جسيم يتحرك بسرعة كبيرة وسطـًا صلبا شفافـًا فإنه يستطيع فى ظروف معينة إرسال إشعاع كهرامغنطيسى يعرف باسم إشعاع شيرينكوف . ويجب لذلك أن تكون سرعة الضوء فى الوسط الصلب أقل من سرعة الجسيم

فإذا أشرنا إلى معامل الانكسار للوسط الشفاف بالرمز ن ، ج سرعة الضوء فى الفراغ فإن سرعة الضوء فى الوسط الصلب ستكون ى = $\frac{ج}{ن}$ وشرط إصدار الإشعاع هو إذاً ع > ى حيث تشير ع إلى سرعة الجسيم .

وهذا الأثر يماثل إصدار موجة تصادم من كرة تتحرك بسرعة تفوق سرعة الصوت. وينحصر الإشعاع فى داخل مخروط قمته الجسيم ويحدد زاويته ا : جتا ا = $\frac{ى}{ع}$

وقياس هذه الزاوية يتيح لنا الوصول إلى طاقة الحركة للجسيم ويمكن استخدام أشعة شيرينكوف للكشف عن الجسيمات ذات الطاقات العالية مثل البروتونات ذات طاقة الحركة الأعلى من ٣٠٠ مليون إلكترون فولت .

والآن دعنا نعود إلى بركلى فهناك حول سيكلوترون جبار – يولد جسيمات الفا ذات ٣٨٠ م . ا . ف . كانوا يعيدون عام ١٩٤٧ التجارب التى أدت إلى إظهار الميزونات وكانوا على علم بالظروف الطاقية التى يجب أن تتوافر لخلقها .

وفى مطلع عام ١٩٤٨ شوهد بالفعل مايدل على وجود الميزونات فى الألواح الفوتوغرافية التى وضعت فى مكان ملائم بجوار هدف من الكربون فى السيكلترون الموقوت .

لقد كان مسار الميزون ينتهى « بنجمة » تعبر عن انفجار نواة صادفها الميزون فى طريقه واختارها قبراً له .

ومرة أخرى تحققت هنا التقديرات النظرية . ولقد شوهد منذ ذلك الحين تكون ميزونات ابتداء من أشعة ذات ٣٣٥ م ا ٠ ف المتولدة فى السنكروترون وفى هذا التفاعل يتحول نيترون إلى بروتون بتأثير أشعة γ

$$\gamma + N \longrightarrow \text{ب} + \pi^-$$

« ولم تعد تحويلات المادة تتم على مستوى النواة كما كانت عام ١٩٢٠ بل أصبحت الجسيمات الأولية نفسها هى التى تتحول وسوف نخلق منها جسيمات جديدة سريعاً » .

وفى عام ١٩٥٥ كان كل شىء قد أعد لمحاولة خلق ضد البروتون .

ضد البروتون :

هناك من الناحية النظرية عدة عمليات مختلفة ممكنة لخلق زوج بروتون – ضد بروتون باصطدام بروتون مع نيكليون .

$$N + \text{ب} \longrightarrow \text{ب} + N' + \text{ب} + \text{ب}^-$$

ولمثل هذا النمط من التفاعل يجب أن تبلغ طاقة حركة البروتون الساقط ٥,٦ مليار إلكترون فولت – ثم وسيلة أخرى يتم الخلق بمقتضاها فى خطوتين – خلق ميزون π

شديد الطاقة وهذا الميزون يولد عند تصادمه مع نيكلون ضد البروتون .

$$\pi + N \longrightarrow \bar{N} + \text{ب} + \text{ب}^{-}$$

وكانت هذه العملية ولو أنها أكثر تعقيداً تستوجب طاقة أقل للبروتون الساقط (٤,١ مليار) ا. ف.)

ولما كان بيفاترون بركلى يمدنا بحزمة من البروتونات ذات ٦,٢ مليارا. ف. كانت التجربة على ذلك مما يمكن تنفيذه .

إن توليد جسيم جديد شيء والكشف عنه أى توضيح خواصه المميزة شيء آخر .

وما لم يكشف الفزيائى عن الجسيم وما لم يحدد هويته فإنه يكون كمن لم يثبت شيئاً . ولذلك كان حول البيفاترون عدد لا بأس به من أجهزة الكشف موصلة ببعضها، بواسطة دوائر الكترونية أعقد جداً من أن نتعرض لوصفها هنا ولكن الغرض منها هو الكشف عن مرور ضد البروتون فى حينه .

وفى نهاية البيفاترون وضع هدف من النحاس معترضا طريق حزمة البروتونات ومن هذا الهدف الذى أمدنا بالنيكليونات ن فى التفاعلات السابقة أخذت تتطاير أسراب الجسيمات المشحونة والمتعادلة التى كان علينا أن نتبين ضد البروتونات من بينها .

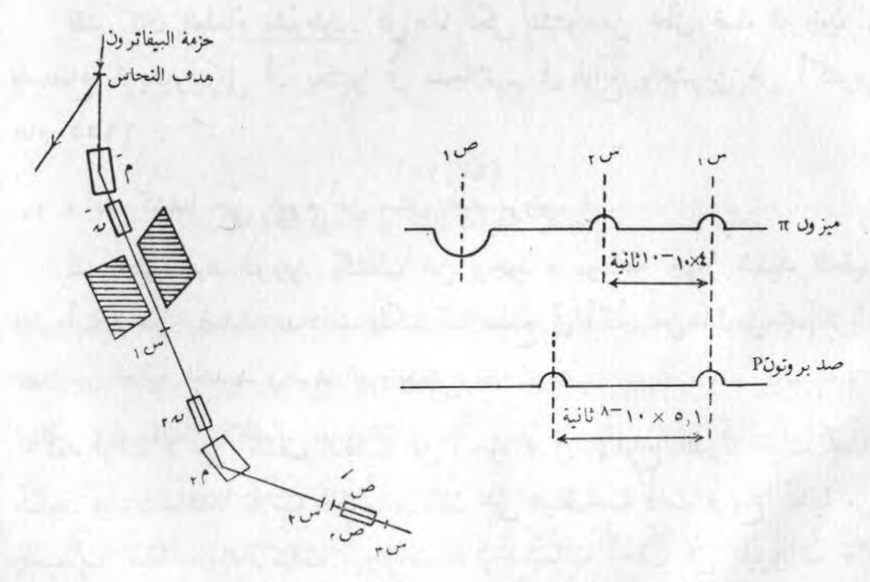
إن انحرافاً نجريه أول الأمر بوساطة المجال المغنطيسى للبيفاترون يتيح لنا أن نفرز الجسيمات السالبة وهى تضم بجانب البروتونات ميزونات π^- بعدد وافر .

وتنحصر بعد ذلك التجربة فى تحديد كتلة الجسيمات السالبة المتولدة من الهدف النحاسى . إن الميزون π^- أخف سبع مرات من ضد البروتون الذى يجب أن يكون له كتلة البروتون ، ويمكن تمييز كل جسيم (π^- ، ب$^-$) بطاقة حركته ك ع وكمية حركته $\overrightarrow{\text{ک}}$ = ك ع^2 ومعرفة ع ، ک فى آن واحد تتيح لنا الوصول إلى كتلة الجسيم .

وتتيح لنا مجموعة من العدسات المغنطيسية والكهربائية م$_1$ ، ن$_1$ ، ن$_2$ ، م$_2$ أن نحرف ونجمع الجسيمات السالبة كلها والتى لها جميعا نفس العزم فى العداد س ذى الومضات وذلك بدقة تبلغ ٢ ٪ (شكل ٣٦) ويقابل هذه القيمة لـ $\overrightarrow{\text{ک}}$ قيمتان

للسرعة ع تبعاً لكتلة الجسيم الذى نتناوله إن كان بروتونا (ع = ٠٫٧٨ ج) أو ميزونا π^- (ع = ٠٫٩٩ ح) ولكى نفصل ضد البروتون عن الميزون π^- حرص الباحثون على أن يمر نوعى الجسيمات خلال عداد ذى ومضات س وضع على مسار هذه الجسيمات اثنى عشر متراً أمام س$_٢$

وبينما تستغرق الميزونات π^- ٤ — ١٠$^{-٨}$ من الثانية فى قطع المسافة بين العدادين فإن ضد البروتون وله نفس كمية الحركة ولكن سرعة أقل يستغرق ٥٫١ — ١٠$^{-٨}$ من الثانية ونرى أنه من المستطاع أن نوفق الدائرة الإلكترونية التى تربط بين العدادين س$_١$ ، س$_٢$ بحيث لا تعدُّ إلا النبضات التى تفصلها ٥٫١ — ١٠$^{-٨}$ من الثانية أى أن تستبعد الميزونات .



(شكل ٣٦) الترتيب التجريبى عند نهاية البيفاترون فى بركلى

تسجيل النبضات التى يمدنا بها العدادات س ، س$_٢$ ، ص$_٢$

ولقد كان هناك فوق ماتقدم تحكم إضافى فكانت الجسيمات السالبة بعد الخروج من العداد ذى الومضات س$_٢$ ولها دائماً نفس العزم تعبر عدادين شيرنكوف ص$_١$ ، ص$_٢$ وعداد ذى ومضات ثالث س$_٣$.

وكان العداد ص$_١$ يكشف كل الجسيمات المشحونة التى تزيد سرعتها على ٠٫٧٩ ج

بينما كان العداد ص ٢ لا يكشف إلا الجسيمات التى تقع سرعتها بين ٠,٧٥ ج < ع < ٠,٧٨ ج .

ونرى بسهولة أن ص ١ يكشف مرور الميزونات π⁻ بينما ص ٢ يسجل مرور ضد البروتونات .

إننا إذ نحتم أن يتوافق الدفع المشترك للعدادين س ١ ، س ٢ مع دفع العداد ص ٢ نشترط تحديدين مستقلين للسرعة ونذهب إلى أبعد من هذا أيضا عندما نضع عداداً ثالثاً ذى ومضات عند نهاية عداد شرينكوف ص ٢ مشترطين أن تتفق دفعات س ١ ، س ٢ ، ص ٢ ، س ٣ الأمر الذى يحتم على الجسيم المكتشف عبور ص ٢ فى اتجاه محوره .

لقد كان العلماء يشترطون كل هذا لكى يتثبتوا من خلق ضد البروتون . واستطاع فزيائيو بركلى أن يكتبوا فى سجلاتهم فى الرابع والعشرين من أكتوبر عام ١٩٥٥ .

« لقد كشفنا حتى اليوم عن ستين ضد بروتون » .

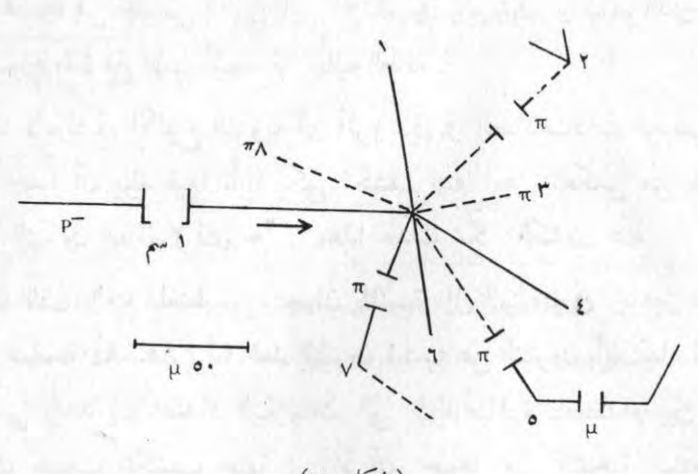
لقد خلق ضد البروتون وكشف عن وجوده بوساطة جهاز شديد التعقيد فقد رأينا ه عبر نبضات عدادات ولكنا كنا نطمع فى أكثر من هذا من نجم فزياء الطاقات العالية الجديد (ضد البروتون) .

لقد أرغمنا ه على كشف النقاب عن وجوده فى الألواح الذرية حيث تجسد مساره . وهناك شاهدنا تلاشيه لقد بدى ذلك على هيئة نجمة ذات فروع ثمانية من جسيمات ثقيلة – ربما كانت بروتونات – وجسيمات أخف هى الميزونات π⁻ (شكل ٣٧) .

وفى مارس عام ١٩٥٦ شوهد فى لوح تعرض لحزمة من بروتونات البيفاترون خط رفيع يربط بين نجمتين عاليتى الطاقة . وعندما فحصت هوية هذا الخط تبين كما لو كان لضد البروتون طاقة حركته ٧١٠ م . ا.ف . وأوضحت دراسة معدل الطاقة للنجمة الثانية التى نشأت عن ضد البروتون أن الطاقة التى انطلقت منها كانت دون شك أكبر من ١٤٦٠ م.ا.ف.

لقد كانت النجمة الأولى تناظر تصادم بروتون مع نواة ثقيلةمع خلق ضد بروتون أما النجمة الثانية فكانت تترجم تلاشى ذلك الضد البروتون .

« وعلى ذلك كان تلاشى ضد البروتون يعتبر برهاناً إضافيًّا على خلقه »



(شكل ٣٧)

الخطوط ١ ، ٤ ، ٦ تناظر جسيمات ثقيلة أما الأخرى فتناظر ميزونات

لقد حسب الباحثون النظريون وذلك منذ عدة سنوات الظواهر التى سوف تتولد عندما يقابل ضد نيكليون النيكليون المقابل له إنهما على غرار زوج من الإلكترونات الموجبة والسالبة e^+ ، e^- يجب أن يتلاشيا مع انطلاق الطاقة التى تكافئ كتلتهما أى بالنسبة إلى زوج بروتون . ضد بروتون ب$^+$ ، ب$^-$ ، ٢ ك جـ٢ ولقد قيدوا فى ذلك الحين أن ذلك التلاشى يمكن أن يتم مع توليد فوتونات كما هو الحال مع الإلكترونات غالبًا ولكن عملية أخرى كانت أكثر احتمالا تلك هى إصدار ميزونين π لهما عزمان متساويان ومتضادان .

بل إن فرمى قد أوضح أن الطاقة المتوفرة يمكن أن يتولد عنها أكثر من ميزونين وأن عمليات أخرى (إصدار جسيمات ثقيلة) كانت ممكنة وكان احتمال حدوثها أكبر .

وهذا هو نفس ما شوهد فعلا فى الألواح التى تعرضت فى بركلى .

ضد النيترون :

وأخيراً كان كشف النقاب حديثاً عن ضد النيترون بوساطة تلاشيه .

لقد سبق أن ذكرنا أن النيترون جسيم يصعب الكشف عنه ولأنه لا شحنة له يكون محروما من خواص التأيين التى للإلكترون والبروتون. وهذاهو الذى حدا بنا أن نتصوره مدة من الزمن أشعة γ عالية الطاقة .

إنه لايترك فى الألواح النووية أى أثر ويمرق فى العدادات ذات الوميض باحتمال ضئيل جداً أن يولد فيها تأينا يكفى للكشف عنه. وعلى العكس من هذا يطلق تلاشى النيترون الطاقة ٢ كـه ج٢ . وهذا حدث يمكن الكشف عنه .

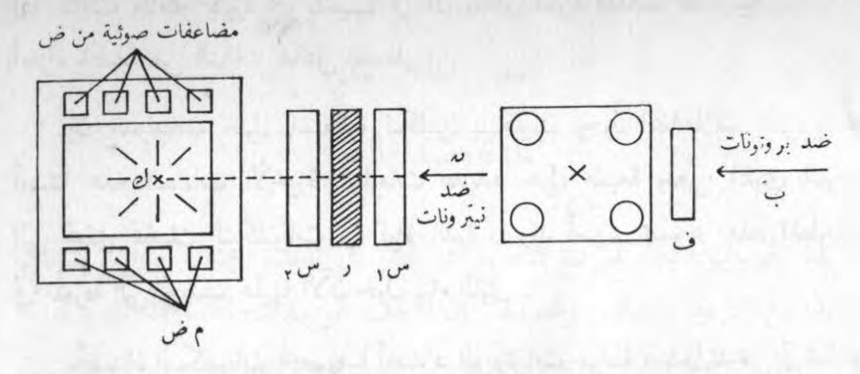
إن اللف والعزم المغنطيسى متجهان بالنسبة إلى النيترون فى اتجاهين متضادين (انظر صفحة ٨٤–٨٥) أما ضد النيترون فيتميز عن النيترون بأن اتجاه لفه وعزمه المغنطيسى واحد إن أضداد النيترونات التى تتولد مباشرة باصطدام بين نيكيلون ونيكليون يصعب الكشف عنها . إذ أن خلوها من الشحنة يستحيل معه انحرافها وتجميعها فى بؤرة كما أنه لا يمكن فصل أضداد النيترونات عن النيكليونات الأخرى التى تصبح طاقات حركتها بعد الصدمة مشابهة تقريبا لطاقة التلاشى ولكى نكشف النقاب جيداً عن ضد البروتون التجأ الباحثون ابتداء من ضد البروتون بوساطة « تبادل الشحنة » أثناء تصادم – فضد البروتون بَ يعطى شحنته لبروتون مولداً بذلك زوجا من نيترون ، ضد نيترون .

$$\text{ب}^- + \text{ب} \longrightarrow \bar{N} + N$$

ولما كان الناتج من ضد النيترون خلال هذه العملية ضعيفا استلزم الأمر أن يكون لدينا من قبل شدة كافية من ضد البروتونات .

وعند مدخل جهاز التحويل (شكل ٣٨) ضد بروتون — ضد نيترون كان العلماء يعدون من ٣٠٠ – ٦٠٠ ضد بروتون فى الساعة .

وكان يجب تمرير ضد النيترونات المولدة عبر العدادات ذات الوميض س١ ، س٢ دون كشف لكى تتلاشى أخيراً فى عداد شيرنكوف الذى يولد عندئذ نبضة يميز مقدارها الطاقة المنطلقة أثناء التلاشى .



(شكل ٣٨) الجهاز العملى للكشف عن وجود النيترون

تعبر ضد النيترونات العدادات ذات الوميض س١ ، س٢ ، دون أن تكتشف وتتلاشى فى عداد شيرنيكوف ك وتسجل عندئذ المضاعفات الضوئية الضوء الصادر الذى يتناسب مع الطاقة المنطلقة .

ف عداد يسجل من ٣٠٠ — ٦٠٠ ضد بروتون فى الساعة .

× محول (ضد بروتون ضد نيترون) . ر : رصاص الغرض منه أن يحول أشعة جاما ذات الطاقة العالية إلى إلكترنات .

ويمكن أن تفلت إشعاعات أخرى متعادلة من « المحول » : ميزونات متعادلة أثقل من الميزونات π صفر وأشعة جاما .

والميزونات المتعادلة تولد نبضة ضعيفة فى عداد شيرنكوف . أما أشعة جاما فإن شاشة من الرصاص توضع بين العدادين س١ ، س٢ تكفى تماماً لتحويلها إلى الكترونات .

ولقد قورن توزيع الطاقة لمختلف النبضات المسجلة فى ك (طيف الطاقة) لضد النيترون وضد البروتون وكانت الأطياف التى حصلنا عليها مشابهة . وهكذا ثبت وجود ضد النيترون .

ومنذ اكتشاف أضداد الجسيمات الجديدة هذه وهى موضوع دراسة دقيقة تزداد صعوبتها نظراً لضعف شدة حزمتها .

عندما يتصادم نيكليون معجل مع نواة يمكن أن ينحرف (الاستطارة) أو ينفذ فى النواة مكونا بهذا الشكل نواة مركبة غير مستقرة (تفاعل نووى) ويمكن أيضاً

إذا كانت طاقته كبيرة أن يتسبب فى أن يغادر النواة الهدف عدة نيكليونات أو أجزاء خفيفة من النواة (تفاعل انفجار) .

إن الدراسات حول استطارة نيكليون بنيكليون وحول التفاعلات النووية قد أمدتنا هذه السنوات الأخيرة بمعلومات عديدة حول طبيعة ومعنى القوى النووية التى تحقق تماسك النيكليونات فى نواة الذرة . وقد أسهم مجموع هذه المعلومات فى المعرفة التى حصلنا عليها الآن حول بناء النوى .

وأضداد النيكليونات خصوصا أضداد البروتونات عرضة عندما تدخل فى تصادم مع نواة أن تعانى استطارة أو أن تعطينا « تبادل شحنات » أو أن تتلاشى . وهكذا استطعنا أن ندرس امتصاص ضد البروتونات فى البرليوم وفى النحاس ومقارنته بامتصاص البروتونات . إن امتصاص أضداد البروتونات أهم من امتصاص البروتونات . وقد وجب تفسيره لذلك نعود ثانية نحو صورة للنيكلون : مركز صلب متنافر تغلفه سحابة من الميزونات π أما بالنسبة إلى ضد نيكليون متصادم مع نيكليون فينبغى علينا أن نلتجىء إلى تدخل مركز صلب ممتص . وسوف نستطيع عند ذلك حساب التفاعل بين البروتون وضد البروتون بنفس طريقة التفاعل بين بروتون وبروتون. وسوف تنهض مشاكل مشابهة بالنسبة لضد النيترون وأخرى أكثر نوعية . هل ضد النيترون مثل النيترون جسيم غير مستقر وهل يتحلل معطيا ضد بروتون والكترون موجب وضد نيترينو . . . ؟ إن الكلمة الآن للفزيائيين التجريبيين .

الفصل الحادى عشر

المادة وضد المادة

منذ بدأ الفزيائيون بعد تجارب التفريغ فى الغاز فى تقطيع أوصال الذرة لم تتوقف الذرية عن التزود بالعناصر الجديدة . إن الزحف نحو ملاشاة المادة قد تقدم تقدماً حثيثاً وبطريقة مستمرة مع استفادة الفزياء من العون الذى تقدمه الرياضيات والتكنيك الذى وفر لنا مدداً من الطاقة يتزايد يوما بعد يوم .

وكان يصحب كل خطوة من خطوات هذا الزحف ظهور جسيم جديد . فأوصلتنا أشعة المهبط إلى الإلكترون بينما أوصلتنا التحويلات المادية إلى استكشاف النواة واكتشاف مكوناتها البروتون والنيترون .

وفى مجال آخر فرض النشاط الإشعاعى بتا النيترينو وفرض تماسك النواة الميزونات إن هذه الجسيمات المختلفة تسمح لنا بتكوين صورة للمادة والمادة مألوفة لنا جداً وإن كنا لم نكتشف منابع الطاقة فيها إلا تواً .

إننا نجد فى المركز النواة حيث ترتبط البروتونات والنيترونات فيما بينها . بواسطة تبادل الميزونات π صفر ، Π^+ ، Π^- وحول النواة وغالباً على مسافات هائلة تدور إلكترونات مغلفةً الشحنة المركزية الموجبة بجو من الكهرباء السالبة .

إننا نعرف ما تحتمه هذه الصورة من تسليم وإذعان للفزياء الكلاسيكية من ناحية وللميكانيكا الموجية من الناحية الأخرى . وبين « الكلمة » التى تعبر عن تجزء سيء التحديد « والشكل الرياضى » وهو فى مقدور الأخصائيين وحدهم نجد نموذج الذرة الكوكبى لبوهر — سمر فيلد مريحاً .

إننا إذا ارتضينا بهذه الصورة للمادة نجد أنفسنا فى حاجة إلى صورة أخرى لضد المادة .

وإذا كنا نستطيع اليوم تخيل ضد الذرة فليس ذلك إلا لأننا اجتهدنا أن نتخطى صورة الذرة لنتسلل إلى مجال النظريات الكبرى للفزياء الحديثة حيث

تتنازل هذه الصورة عن مكانها للمعادلات الرياضية .

لقد ذكرنا آنفا أن الفزياء قد اعتمدت أثناء سعيها إلى معرفة المادة على ما تلقته من عون ومساعدة من الرياضة والتكنيك فلقد قادتنا فعلا النسبية والكمات والميكانيكا الموجية حوالى عام ١٩٣٠ إلى تقدير وجود نوع آخر من الجسيمات يصعب مشاهدته هو أضداد الجسيمات .

– قادتنا النسبية إذ استحدثت تعبيراً جديداً عن طاقة الجسيم

$$\left[\, \text{ق} = \pm\, \text{ح} \sqrt{\text{ك} + \text{ك ح}^{٢}} \,\right]$$

– ونظرية الكمات إذ رفعت الحظر عن الطاقات السالبة .

والميكانيكا الموجية النسبية التى فتحت أمامنا آفاقًا جديدة بتفسيرها الصحيح لخواص الالكترون ولقد قدرت نظرية الثغرات بطريقة دقيقة وجود جسيمات جديدة وحددت خواصها وذلك عندما أعطت مغزى واضحاً للإلكترونات ذات الطاقة السالبة .

إن الجسيم وضد الجسيم لا يختلفان إلا بإشارة شحنتيهما وإشارة عزميهما المغنطيسيان ولقد أثبتت تجربة المجربون سريعاً وجود أضداد الجسيمات وكان هذا الوجود أمراً تنبأت به الفزياء من الناحية النظرية عام ١٩٣٠ .

فجاء أولا ضد الإلكترون أو الإلكترون الموجب ثم كان علينا أن ننتظر بناء المعجلات الجبارة لإكمال قائمة أضداد الجسيمات فأنتجنا بالسنكروسكلوترون (السيكلوترون الموقرت) الميزونات π^- — π^+ وأنتجنا بالبيغاترون أضداد البروتونات وأضداد النيترونات .

وأخيراً أتاحت لنا حديثًا المفاعلات الذرية أن نتحقق من وجود النيوترينو وضد النيوترينو ، ولم تأت نهاية عام ١٩٥٦ حتى كانت قائمة أضداد الجسيمات قد تمت ومن ثم تماسكت صورة ضد المادة .

فى الوسط ضد النواة أو ضد البروتونات وضد النيترونات وهى تتماسك بتبادل الميزونات π صفر ، π^- ، π^+ وحول ضد النواة وغالبا على مسافات شاسعة هناك أضداد الإلكترونات تدور مغلفة الشحنة المركزية السالبة بجو من الكهرباء الموجبة ،

وضد الذرة هذا الذى كان من الممكن رسم صورته غداة أن نشر ديراك بحثه الذى يعلن احتمال وجود أضداد الجسيمات ذلك الانعكاس الذى هو بمثابة الصورة فى المرآة للذرة هل يناظر فعلا حقيقة قائمة . . . ؟ أو بعبارة أخرى هل يمكن أن يوجد فعلاً ضد المادة . . . . ؟

وإحدى وسائل التحقق من وجوده هى خلقه وسوف تشبه عملية الخلق دون شك خلق المادة ابتداء من أبسط مكوناتها الإلكترون والبروتون .

والصعوبة هنا هى أن هذا الخلق ليس أمراً هينا إنه يستلزم عند البدء فيه درجة حرارة هائلة لا نحصل عليها بسهولة .

فلكى نكوّن نواة هليوم مثلا لا يكفى أن يكون لدينا بروتونات ونيترونات أو أربعة بروتونات وإلكترونان سالبان بل ينبغى فوق ذلك أن نحقق التحامها واندغامها ولكى يتم التفاعل يستلزم هذا درجة فى حدود درجة حرارة داخل الشمس أى درجة حرارة تبلغ عدة ملايين من الدرجات .

إن تكوين نواة الهليوم ابتداء من ٤ بروتونات قد أمكن تقديره كما لو كان ناتجاً عن سلسلة من التفاعلات التى تطلق الطاقة (سلسلة بيته) .

(يد ${}^{١}_{١}$) + ك ${}^{١٢}_{٦}$ ← ن ${}^{١٣}_{٧}$ + γ

↓

ن ${}^{١٣}_{٧}$ ← ك ${}^{١٢}_{٦}$ + (e^{+})

(يد ${}^{١}_{١}$) + ك ${}^{١٢}_{٦}$ ← ن ${}^{١٤}_{٧}$ + γ

(يد ${}^{١}_{١}$) + ن ${}^{١٤}_{٧}$ ← ا ${}^{١٥}_{٨}$ + γ

↓

ا ${}^{١٥}_{٨}$ ← ن ${}^{١٥}_{٧}$ + (e^{+})

(يد ${}^{١}_{١}$) + ن ${}^{١٥}_{٧}$ ← ك ${}^{١٢}_{٦}$ + (هى ${}^{٤}_{٢}$)

وفى هذه السلسلة من التفاعلات نرى أن الكربون ك $^{١٢}_{٦}$ يلعب دور العامل المساعد. وتنطلق كمية هائلة من الطاقة أثناء هذا التكوين لنواة الهليوم ابتداء من مكوناتها البسيطة .

ومصدر هذه الطاقة نقص فى كتلة النواة المتكونة فنحن نجد فى الواقع باعتبار أن ا = ١٦ وهو الأساس الذى يستخدم لتحديد الكتل الذرية للعناصر أن كتلة البروتون على هذا الأساس **١,٠٠٧٥٩٦** وكتلة النيترون **١,٠٠٨٩٨**

ومجموع ٤ نيكليونات يعطينا كتلة مقدارها **٤,٠٣٣١٥٢** بينما كتلة نواة الهليوم **٤,٠٠٢٨٠** والفرق فى الكتلة ومقداره **٠,٠٣٠٣٥٢** يختفى بالتدقيق أثناء الالتحام التام للنيكليونات . ولكنه يجب لتحقيق هذا الالتحام كما سبق أن أشرنا أن تتوافر لدينا درجة حرارة تبلغ عدة ملايين من الدرجات التى بدونها يستحيل تخليق المادة .

ومثل هذه الدرجة موجودة فى النجوم كما أننا نستطيع أن نبحث معها رهطاً من التفاعلات ابتداء من الجسيمات الأولية وليس فى متناول أيدينا الآن إلا الانفجار الذرى لكى يمدنا بدرجات حرارة تتيح الالتحام بين النيكليونات . إن هذا هو مبدأ القنبلة الهيدروجينية[1] .

لقد رأينا تواً كيف نبنى المادة ابتداء من العناصر التى تتكون منها فهل سيتكون ضد المادة بنفس الطريقة . . . ؟ إذا استطاع ضد بروتون أن يلتصق بألكترون موجب فإننا سوف نحصل دون شك على أبسط صورة لضد المادة . ولكن هذا الضد هيدروجين ماذا عسانا أن نفعل به ؟

إن معاملنا وكل دنيانا حيث تُجْرى تجاربنا مصنوعة كلها من المادة ونحن نعرف أن الخاصية الأساسية لأضداد الجسيمات هى التلاشى عندما يتلامس جسيمان شقيقان .

ماذا نصنع لكى لا يتقابل الإلكترون الموجب فى ضد الهيدروجين مع أحد الإلكترونات السالبة التى تتكون منها كل مادة.. ؟ كيف نحمى ضد الهيدروجين

---

(١) تجرى حالياً أبحاث لتوليد تلك الدرجة من الحرارة التى تبلغ عدة ملايين وهى الدرجة اللازمة لدراسة تفاعلات الالتحام. ولقد حصلت هذه الأبحاث على نتائج هامة وسوف تنافس فى المستقبل القريب الطاقة النووية المتولدة عن الالتحام الطاقة النووية المتولدة عن الانشطار .

ونصونه لكى نصنع ابتداء منه ضد الهليوم . . ؟ كيف نتناول فى تجاربنا ضدالمادة . . . ؟

لقد ذكرنا فى مقدمة هذا الكتاب : « أن نفهم جيداً بناء وخواص المادة لكى نستطيع دون إغراق فى الخيال تصور بناء ضد المادة » وقد انتهينا بعد رحلة غالبـًا ما أثقلتها التعبيرات الرياضية التى لا يمكن مع ذلك تفاديها إلى تصور بناء ضد المادة هذا ولعله فى الغالب صورة طبق الأصل لبناء المادة وبالرغم من أنه ليس هناك مشاهدة تلكسوبية يمكن أن تكشف لنا ضد المادة فليس خروجا على المعقول أن نتخيل نجوما ومجرات تتكون من ضد المادة . ولكنا نعلم أيضا أن تواجد هذين النوعين معا فرض فى الحالة الراهنة لمعلوماتنا غير معقول .

لقد ظن بعض المؤلفين أنهم تبعـًا لشدة الأشعة الكونية يستطيعون القول بأن النسبة بين المادة وضد المادة فى مجرتنا أقل من ١٠ -٧ ونحن أيضاً نستطيع دون شك لو شئنا التعليق على التعبيرات الرياضية التى تعبر عن وجود أضداد الجسيمات وإليك واحدة من هذه التعليقات. لقد أوضحنا فى نهاية الفصل الخاص بالنسبية ما نستطيع أن نستخلصه من التعبير الذى يعطينا الكتلة القابلة للتغير للإلكترون

$$\text{ك} = \text{ك}. \frac{\frac{\text{ى ز}}{\text{ى ف}}}{\text{ج}}$$

حيث تعطينا وحدة الكون ى ف التى تمثل مسار الإلكترون فى الزمان المعادلة ى ف = ± $\sqrt{\text{ج}^{2} \text{ى}^{2} - \text{ى فو}^{2}}$ فإذا كان ما يناظر ى َف الموجبة هو إلكترونات سالبة ذات طاقة حركة موجبة تتقدم من الماضى نحو المستقبل ألا يكو ما يناظر ى ف السالبة هو إلكترونات سالبة ذات طاقة حركة سالبة زمانها الخاص فى اتجاه عكس اتجاه الزمن العادى بشكل يجعلنا نستطيع اعتبار الإلكترون الموجب كإلكترون سالب يعود القهقرى فى مجرى الزمن .

دعنا لا نتعدى حدود المعقول أن مجالا مترامى الأطراف يفتح أبوابه أمامنا على مصراعيها ولا يزال الفزيائيون بعيدين عن استنفاد كل ثرواته وكشف كل أسراره إن الأبحاث حول أضداد الجسيمات الجديدة قد بدأت أو تكاد تبدأ وهى تستطيع أن تلقى ضوءاً جديداً على مشكلة بناء الجسيمات الأولية ذلك البناء الذى يحجبه حاليـًا ويلفه بدثار من الغموض استخدامنا لتلك الصيغية المجردة وحدها لدالة الموجة Ψ

هل تعود الفزياء وقد زاد ثراءها بأضداد الجسيمات فتتجه من جديد نحو الصورة . . . ؟ نحو البحث عن بناء داخلى للجسيمات الأولية . . . ؟ هل يتجزأ الإلكترون كما تجزأت الذرة مفضيا بأسرار بنائه إلى الفزيائيين . . . ؟

من مزايا الفزياء فى رأى ج . ج ثومسون أنه ليس لها حدودا ثابتة ودقيقة وأن أى اكتشاف ليس فى حد ذاته هدفا بل إنه أقرب إلى أن يكون منفذا يؤدى إلى مناطق ودروب لم يرتدها أحدها من قبل وأنه طالما وجد العلم فسوف يكون هناك مزيد من المشكلات التى تتطلب الحل دون أن يتعرض الفزيائيون أبدا إلى خطر التعطل والبطالة .

الرموز اللاتينية المستخدمة وترجمتها

المصطلح	الرمز اللاتيني	الترجمة	المصطلح	الرمز اللاتيني	الترجمة
النسبة التقريبية	Π	ط	العزم الحركى	$\vec{M}$	$\vec{M}$
نصف القطر	a	نق	العزم الدورانى	M_{rs}^{t}	$M_{\text{دوران}}$
التغير	d	ء	مجال مغناطيسى	H	H
الإحداثيات	x	س	عزم مغناطيسى	M	م
	y	ص	الإلكترون	— e	— e
	z	سـ	البوزيتون	+ e	+ e
	r	ز	بروتون	P	ب
الكتلة	m	ك	ضد بروتون	p^{-}	ب $^{-}$
كتلة السكون	M_{o}	ك.	نيترون	N	N
كتلة البرتون	M_{p}	كب	ضد تيترون	N^{-}	N^{-}
كتلة النيترون	M_{u}	كن	نبكلون	$\mathcal{N}$	$\mathcal{N}$
السرعة	$\vec{V}$	$\overrightarrow{\text{ع}}$	ضد نبكلون	$\mathcal{N}^{-}$	$\mathcal{N}^{-}$
السرعة الزاوية	$\vec{\omega}$	$\overrightarrow{\text{ع}}$	نيترينو ضدتيترينو	ν ، ν^{-}	ν ، ν^{-}
سرعة الضوء	C	حـ	ميزون	π^{+} ، π° ، π^{-}	π^{+} ، π° ، π^{-}
القوة	F	F	شحنة النواة	Ze	Ze
العجلة	γ	γ	طبقات الإلكترون	M-L-K	M-L-K
كمية الحركة	$\vec{P}$	$\overrightarrow{\text{ك}}$	الأعداد الكماتية	n-l-J	n-l-J
الطاقة	E	ط	ثابت بلانك	h	هـ
طاقة الحركة	W	ش			

المحتوى

تم طبع هذا الكتاب على مطابع
دار المعارف بمصر سنة ١٩٦٨